Sérgio Linhares • Fernando Gewandsznajder • Helena Pacca

Biologia Hoje

Genética • Evolução • Ecologia

Manual do Professor

3

Biologia - Ensino Médio

editora ática

Sérgio Linhares • Fernando Gewandsznajder • Helena Pacca

Biologia Hoje

Genética • Evolução • Ecologia

Manual do Professor

Sérgio Linhares

Bacharel e licenciado em História Natural pela Universidade do Brasil (atual UFRJ)

Foi professor de Biologia Geral na Universidade do Brasil (atual UFRJ) e de Biologia no Colégio Pedro II, Rio de Janeiro (Autarquia Federal – MEC)

Fernando Gewandsznajder

Licenciado em Biologia pelo Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Mestre em Educação pelo Instituto de Estudos Avançados em Educação da Fundação Getúlio Vargas do Rio de Janeiro

Mestre em Filosofia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Doutor em Educação pela Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Foi professor de Biologia e Ciências no Colégio Pedro II, Rio de Janeiro (Autarquia Federal – MEC)

Helena Pacca

Bacharela e licenciada em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo
Possui experiência como editora de livros didáticos de Ciências e Biologia

3

Biologia - Ensino Médio

3ª EDIÇÃO
SÃO PAULO • 2016

editora ática

editora ática

Diretoria editorial
Lidiane Vivaldini Olo

Gerência editorial
Luiz Tonolli

Editoria de Biologia e Química
Isabel Rebelo Roque

Edição
Felipe Capeli, Marcela Pontes

Gerência de produção editorial
Ricardo de Gan Braga

Arte
Andréa Dellamagna (coord. de criação),
Erik TS (progr. visual de capa e miolo),
André Gomes Vitale (coord.),
Claudemir Camargo Barbosa (edição)
e Casa de Tipos (diagram.)

Revisão
Hélia de Jesus Gonsaga (ger.),
Rosângela Muricy (coord.), Ana Curci,
Ana Paula Chabaribery Malfa, Célia da Silva Carvalho,
Luís Maurício Boa Nova, Heloísa Schiavo,
Brenda Morais e Gabriela Miragaia (estagiárias)

Iconografia
Sílvio Kligin (superv.), Denise Durand Kremer (coord.),
Jad Silva (pesquisa), Cesar Wolf e
Fernanda Crevin (tratamento de imagem)

Ilustrações
Casa de Tipos, Ingeborg Asbach, Julio Dian,
Luis Moura, Luiz Iria, Maspi e Mauro Nakata

Cartografia
Eric Fuzii, Márcio Souza

Foto da capa: Detalhe dos pólipos de um coral estrela (*Montastraea cavernosa*). Cada pólipo tem aproximadamente 2 cm de diâmetro.
Jason Edwards/Getty Images

Protótipos
Magali Prado

Direitos desta edição cedidos à Editora Ática S.A.
Avenida das Nações Unidas, 7221, 3º andar, Setor A
Pinheiros – São Paulo – SP – CEP 05425-902
Tel.: 4003-3061
www.atica.com.br / editora@atica.com.br

2016

ISBN 978 8508 17959 6 (AL)
ISBN 978 8508 17960 2 (PR)
Cód. da obra CL 713357
CAE 566 205 (AL) / 566 206 (PR)

3ª edição
1ª impressão

Impressão e acabamento

EDITORA AFILIADA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Linhares, Sérgio
Biologia hoje / Sérgio Linhares, Fernando Gewandsznajder, Helena Pacca. -- 3. ed. -- São Paulo : Ática, 2016.

Obra em 3 v.
Conteúdo: V.1. Citologia, reprodução e desenvolvimento, histologia e origem da vida -- v.2. Os seres vivos -- v.3. Genética, evolução e ecologia.
Bibliografia.

1. Biologia (Ensino médio) I. Gewandsznajder, Fernando. II. Pacca, Helena. III. Título.

16-02047 CDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07

APRESENTAÇÃO

A Biologia, como as demais Ciências da Natureza, está em toda parte. Enquanto você troca mensagens de texto com alguém, seu organismo inteiro trabalha de maneira integrada para que você se mantenha vivo, pense e mexa os dedos de forma sincronizada para escrever e enviar essas mensagens.

É por isso que podemos dizer que entender um pouco de Biologia é ampliar muito a compreensão que nós temos do mundo. A influência cada vez maior das ciências em nosso cotidiano exige que estejamos bem informados para acompanhar as descobertas científicas e as novas tecnologias, avaliando os impactos dessas novidades sobre nossa vida em sociedade. Nesse sentido, compreender aspectos da Biologia pode contribuir muito para a valorização da pluralidade que marca de forma positiva a sociedade nos dias de hoje.

Nesta coleção, apresentamos os conceitos fundamentais da Biologia, muitos dos quais relacionados às demais Ciências da Natureza, à nossa cultura e a outras áreas do conhecimento. Além de discutir conceitos básicos de Biologia e suas relações com outras ciências, os livros desta coleção incentivam uma postura investigativa e a vontade de crescer e de tornar-se um cidadão.

A leitura dos textos e boxes, a interpretação de imagens e gráficos, bem como a realização das atividades e pesquisas propostas, serão ferramentas essenciais para o seu desenvolvimento como estudante. Mas, acima de tudo, serão ferramentas para sua formação como cidadão em um mundo globalizado, em que sua participação é cada vez mais importante.

Os autores

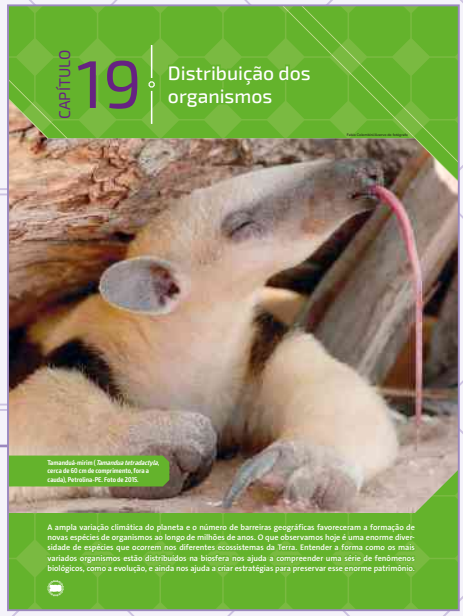
Eduardo Rivero/Shutterstock/Glow Images

Conheça seu livro

Os volumes desta coleção estão divididos em cinco unidades. Cada uma delas discute um grande tema dentro da Biologia. Para facilitar a leitura e a compreensão dos conceitos, usamos os recursos a seguir:

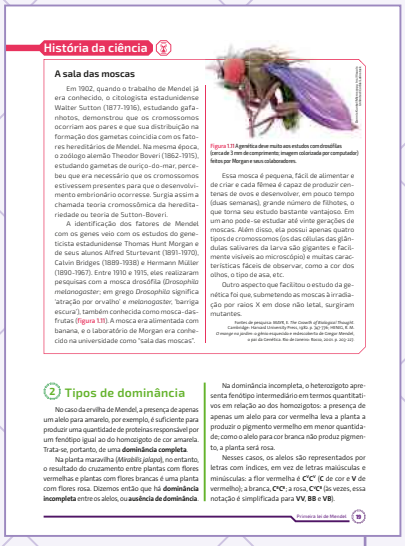
Abertura da Unidade

Em cada Unidade é apresentado um breve texto de introdução que convida você a conhecer mais a respeito de um grande tema da Biologia.



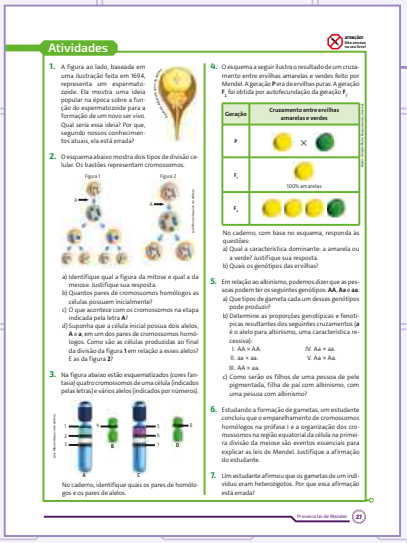
Abertura do capítulo

Apresenta texto e imagens que contextualizam os assuntos tratados no capítulo.



História da ciência

Traz relatos que ajudam na compreensão da investigação científica, do cotidiano do cientista e do contexto social envolvido em algumas das descobertas relacionadas à Biologia.



Atividades

Esta seção traz atividades de diversos formatos que vão ajudar você a estudar, verificando quais conceitos estão consolidados e quais precisam de mais atenção.

Biologia e sociedade

A teoria da evolução e os limites da ciência

Em linguagem coloquial, a palavra "teoria" pode ser usada com diferentes significados, por exemplo, como sinônimo de hipótese ("eu tenho uma teoria para explicar isso"). Em ciência, porém, o uso desse termo é restrito: para a ciência, teoria é o conjunto de conceitos, leis e modelos que fornecem uma explicação para uma série de fenômenos em determinada área do conhecimento. Com base nas teorias científicas, são formuladas hipóteses, que devem poder ser testadas por meio de observações ou de experimentos.

Nas Ciências da Natureza (Física, Química, Biologia, etc.), as teorias elaboradas procuram explicar os fenômenos que envolvem matéria e energia.

Nessa área do conhecimento há vários exemplos de teorias aceitas pela comunidade científica – como a teoria da relatividade, a da mecânica quântica, a da tectônica de placas e a atual teoria da evolução, entre outras –, o que não quer dizer que elas são definitivas, isto é, que não possam ser corrigidas ou mesmo substituídas por outras.

Em relação à história da vida na Terra, o consenso dentro da comunidade científica é de que há evidências suficientes (como veremos ao longo desta Unidade) para considerar que houve evolução biológica, ou seja, a evolução das espécies em nosso planeta pode ser considerada um fato – e a teoria da evolução procura explicar como isso ocorreu e continua a ocorrer. O que não significa que a teoria esteja pronta e acabada: vários pontos dela estão sendo debatidos, por exemplo, a importância relativa dos diversos fatores da evolução. Mas, para a comunidade científica, não há, pelo menos por enquanto, outra teoria capaz de explicar tantos fatos e de gerar novas observações e novos campos de pesquisa.

No entanto, embora a ciência possa nos dizer o que somos capazes de fazer, ela não nos diz o que devemos fazer ou o que é certo ou errado. O bem e o mal e o certo e o errado pertencem à esfera ética (estudada em Filosofia), não à esfera científica.

Para muitos filósofos, enquanto a ciência trata de questões que podem ser testadas por meio de observações ou de experimentos, outros conhecimentos tratam de questões diferentes e fora do alcance da ciência. É o caso da arte (figura 8.11), que nos ensina muito sobre as emoções e os sentimentos humanos. Lendo um romance, por exemplo, podemos sentir as emoções das personagens e refletir sobre as nossas emoções. A ciência, em conjunto com a arte, a religião, o conhecimento cotidiano e a filosofia (o que inclui a ética), é apenas uma parte da cultura humana. (As disciplinas de Filosofia e Sociologia exploram esses tópicos com maior detalhamento).

Apropriar-se do conhecimento científico sem princípios éticos, porém, foi o grande engano do movimento conhecido como "darwinismo social", que, no século XIX, usou o conceito de seleção natural para tentar justificar a divisão da sociedade em classes e o imperialismo, uma voz que seria "natural" o domínio dos mais fortes sobre os mais fracos, que tenderiam a perecer. O primeiro erro foi supor que a genética e a seleção natural são os únicos fatores que influenciam o ser humano, esquecendo a importância dos valores sociais e culturais para nossa espécie. O segundo foi relacionar um fenômeno natural, a evolução, com fenômenos históricos e sociais, extrapolando de fatos naturais para questões éticas e para a complexidade da cultura humana.

Figura 8.11 *Cartão postal*, obra produzida em 1929 pela artista brasileira Tarsila do Amaral (1886-1973) e que retrata a cidade do Rio de Janeiro.

Evolução: as primeiras teorias 121

Biologia e...

São diversos boxes que buscam relacionar os conceitos científicos tratados no capítulo com fenômenos do cotidiano, a vida em sociedade e temas atuais das áreas de tecnologia, saúde e meio ambiente. Alguns desses boxes fazem ainda relações entre Biologia e outras disciplinas, como Química e História.

Atividade prática

Extração de DNA de morangos

Nesta atividade de extração de DNA, você vai precisar de: morangos maduros; água filtrada; 2 colheres (chá) limpas; um pouco de sal de cozinha; cerca de 50 mL de detergente incolor; coador de cartável de café (ou filtro de papel de laboratório); dois copos de plástico; saco plástico impermeável com fecho hermético (do tipo usado para guardar alimentos congelados); funil; frasco pequeno de vidro (incolor e com paredes retas; ou um tubo de ensaio com cerca de 3 cm de diâmetro); vareta fina de bambu.

O professor deverá providenciar com antecedência um vidro pequeno com tampa contendo álcool etílico 90 °G.L., e um recipiente de isopor com gelo picado. Um pouco antes do início da prática, o vidro com álcool deve ser colocado no gelo, porque o álcool deverá ser usado gelado.

Retire as "folhinhas" verdes (sépalas) dos morangos, lave-os e coloque-os dentro do saco plástico. Acrescente 4 colheres de água filtrada e feche bem o saco. Esmague bem os morangos, comprimindo-os dentro do saco por alguns minutos. Coloque quatro colheres da água filtrada em um dos copos, acrescente uma colher de detergente e duas pitadas de sal. Mexa com a colher e, em seguida, usando a outra colher, acrescente duas colheres da fruta esmagada. Mexa devagar a mistura (para não formar bolhas) por cerca de quatro minutos. Coloque o coador de papel sobre o outro copo e coe a mistura.

Em seguida, o professor deverá colocar um pouco desse filtrado no frasco de vidro e acrescentar devagar, procurando fazer o líquido escorrer pela lateral do frasco, o álcool gelado (aproximadamente o dobro do volume do filtrado). Depois de alguns minutos deverá aparecer fios brancos na superfície da mistura, que podem ser pescados com o auxílio da vareta fina de bambu. Esses fios são o DNA do morango. É possível prover essa afirmação, mas, para isso, é preciso realizar alguns testes especiais em laboratório.

1. O detergente (ou o xampu incolor, que também pode ser usado) é importante para retirar o DNA do interior das células, pois dissolve um tipo de molécula que faz parte da composição de determinadas estruturas da célula. Que molécula é essa e quais são essas estruturas?
2. Um estudante afirmou que os alimentos transgênicos são perigosos para a saúde porque possuem DNA. Embora alimentos transgênicos precisem ser testados para verificar riscos para a saúde e para o ambiente, o que há de errado com a frase do estudante?
3. Existe um teste relativamente simples para identificar e quantificar o DNA das células, mas que só deve ser realizado por técnicos de laboratório, em ambiente adequado, porque envolve o uso de um ácido muito corrosivo. Pesquise (em livros, na internet, em CD-ROMs) como se chama esse teste.

Sugestões de aprofundamento

Para ler:

- **Crick, Watson e o DNA em 90 minutos.** Paul Strathern. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001. [Coleção Cientistas em 90 minutos.]
- **Genética e DNA em quadrinhos.** Mark Shultz e Zander Cannon. São Paulo: Editora Blucher, 2011.
- **Genéticas: escolhas que nossos avós não faziam.** Mayana Zatz. São Paulo: Globo livros, 2009.
- **Sequenciaram o genoma humano... E agora?.** Lygia da Veiga Pereira. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2005.
- **Transgênicos: inventando seres vivos.** Samuel Murgel Branco. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2015.

Para acessar:

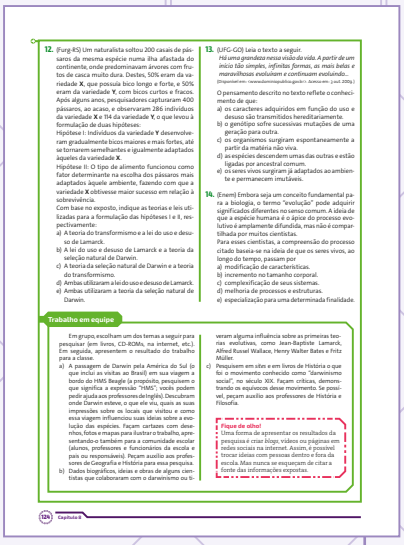
- **Clonagem – aspectos biológicos e éticos:** <www.ufrgs.br/bioetica/clone.htm>
- **Terapia gênica: o que é, o que não é e o que será:** <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40942010000100004>

Acesso em: 12 maio 2016.

As aplicações da genética molecular 169

Atividades práticas

Contém sugestões de procedimentos laboratoriais que simulam observações ou experimentos científicos. As atividades são instigantes, acessíveis e seguras, mas devem ser realizadas sempre sob supervisão do professor ou de outro adulto.



12. (Furg-RS) Um naturalista soltou 200 casais de pássaros da mesma espécie numa ilha afastada do continente, onde predominavam árvores com frutos de casca muito dura. Destes, 50% eram da variedade **X**, que possuía bico longo e forte, e 50% eram da variedade **Y**, com bicos curtos e fracos. Após alguns anos, pesquisadores capturaram 400 pássaros, ao acaso, e observaram 286 indivíduos da variedade **X** e 114 da variedade **Y**, o que levou à formulação de duas hipóteses:

Hipótese I: Indivíduos da variedade **Y** desenvolveram gradualmente bicos maiores e mais fortes, até se tornarem semelhantes e igualmente adaptados àqueles da variedade **X**.

Hipótese II: O tipo de alimento funcionou como fator determinante na escolha dos pássaros mais adaptados àquele ambiente, fazendo com que a variedade **X** obtivesse maior sucesso em relação à sobrevivência.

Com base no exposto, indique as teorias e leis utilizadas para a formulação das hipóteses I e II, respectivamente:

a) A teoria do transformismo e a lei do uso e desuso de Lamarck.
b) A lei do uso e desuso de Lamarck e a teoria da seleção natural de Darwin.
c) A teoria da seleção natural de Darwin e a teoria do transformismo.
d) Ambas utilizaram a lei do uso e desuso de Lamarck.
e) Ambas utilizaram a teoria da seleção natural de Darwin.

13. (UFG-GO) Leia o texto a seguir.

Há uma grandeza nessa visão da vida. A partir de um início tão simples, infinitas formas, as mais belas e maravilhosas evoluíram e continuam evoluindo...

(Disponível em: <www.abenonline.org/index.php?...&mod=mt>. [-ud. 2009.])

O pensamento descrito no texto reflete o conhecimento de que:

a) os caracteres adquiridos em função do uso e desuso são transmitidos hereditariamente.
b) o genótipo sofre sucessivas mutações de uma geração para outra.
c) os organismos surgiram espontaneamente a partir da matéria não viva.
d) as espécies descendem umas das outras e estão ligadas por ancestral comum.
e) os seres vivos surgiram já adaptados ao ambiente e permanecem imutáveis.

14. (Enem) Embora seja um conceito fundamental para a biologia, o termo "evolução" pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas.

Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por

a) modificação de características.
b) incremento no tamanho corporal.
c) complexificação de seus sistemas.
d) melhoria de processos e estruturas.
e) especialização para uma determinada finalidade.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar (em livros, CD-ROMs, na internet, etc.). Em seguida, apresentem o resultado do trabalho para a classe.

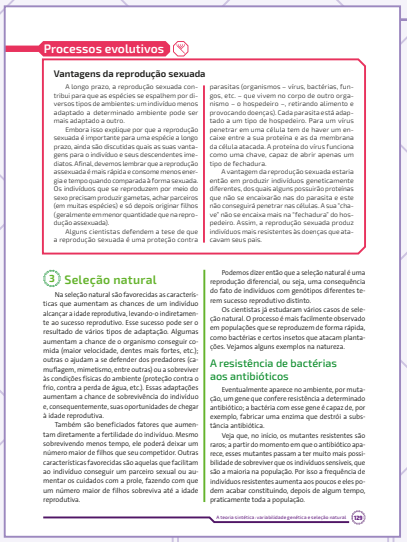
a) A passagem de Darwin pela América do Sul (o que inclui as visitas ao Brasil) em sua viagem a bordo do HMS *Beagle* (a propósito, pesquisem o que significa a expressão "HMS"; vocês podem pedir ajuda aos professores de Inglês). Descubram onde Darwin esteve, o que ele viu, quais as suas impressões sobre os locais que visitou e como essa viagem influenciou suas ideias sobre a evolução das espécies. Façam cartazes com desenhos, fotos e mapas para ilustrar o trabalho, apresentando-o também para a comunidade escolar (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis). Peçam auxílio aos professores de Geografia e História para essa pesquisa.
b) Dados biográficos, ideias e obras de alguns cientistas que colaboraram com o darwinismo ou tiveram alguma influência sobre as primeiras teorias evolutivas, como Jean-Baptiste Lamarck, Alfred Russel Wallace, Henry Walter Bates e Fritz Müller.
c) Pesquisem em sites e em livros de História o que foi o movimento conhecido como "darwinismo social", no século XIX. Façam críticas, demonstrando os equívocos desse movimento. Se possível, peçam auxílio aos professores de História e Filosofia.

Fique de olho!
Uma forma de apresentar os resultados da pesquisa é criar blogs, vídeos ou páginas em redes sociais na internet. Assim, é possível trocar ideias com pessoas dentro e fora da escola. Mas nunca se esqueçam de citar a fonte das informações expostas.

124 Capítulo 8

Trabalho em equipe

Apresenta atividades que estimulam a cooperação entre os alunos e a participação ativa na comunidade dentro e fora da escola. Os temas propostos buscam a inter-relação entre o que se vê em sala de aula e o que se vive em outros ambientes. Muitas das atividades que aparecem nesta seção têm propostas que integram as Ciências da Natureza às demais disciplinas.



Processos evolutivos

Vantagens da reprodução sexuada

A longo prazo, a reprodução sexuada contribui para que as espécies se espalhem por diversos tipos de ambientes: um indivíduo menos adaptado a determinado ambiente pode ser mais adaptado a outro.

Embora isso explique por que a reprodução sexuada é importante para uma espécie a longo prazo, ainda são discutidas quais as suas vantagens para o indivíduo e seus descendentes imediatos. Afinal, devemos lembrar que a reprodução assexuada é mais rápida e consome menos energia e tempo quando comparada à forma sexuada. Os indivíduos que se reproduzem por meio do sexo precisam produzir gametas, achar parceiros (em muitas espécies) e só depois originar filhos (geralmente em menor quantidade que na reprodução assexuada).

Alguns cientistas defendem a tese de que a reprodução sexuada é uma proteção contra parasitas (organismos – vírus, bactérias, fungos, etc. – que vivem no corpo de outro organismo – o hospedeiro –, retirando alimento e provocando doença). Cada parasita está adaptado a um tipo de hospedeiro. Para um vírus penetrar em uma célula tem de haver um encaixe entre a sua proteína e as da membrana da célula atacada. A proteína do vírus funciona como uma chave, capaz de abrir apenas um tipo de fechadura.

A vantagem da reprodução sexuada estaria então em produzir indivíduos geneticamente diferentes, dos quais alguns possuirão proteínas que não se encaixarão nas do parasita e este não conseguirá penetrar nas células. A sua "chave" não se encaixa mais na "fechadura" do hospedeiro. Assim, a reprodução sexuada produz indivíduos mais resistentes às doenças que atacavam seus pais.

3 Seleção natural

Na seleção natural são favorecidas as características que aumentam as chances de um indivíduo alcançar a idade reprodutiva, levando-o indiretamente ao sucesso reprodutivo. Esse sucesso pode ser o resultado de vários tipos de adaptação. Algumas aumentam a chance de o organismo conseguir comida (maior velocidade, dentes mais fortes, etc.); outras o ajudam a se defender dos predadores (camuflagem, mimetismo, entre outras) ou a sobreviver às condições físicas do ambiente (proteção contra o frio, contra a perda de água, etc.). Essas adaptações aumentam a chance de sobrevivência do indivíduo e, consequentemente, suas oportunidades de chegar à idade reprodutiva.

Também são beneficiados fatores que aumentam diretamente a fertilidade do indivíduo. Mesmo sobrevivendo menos tempo, ele poderá deixar um número maior de filhos que seu competidor. Outras características favorecidas são aquelas que facilitam ao indivíduo conseguir um parceiro sexual ou aumentar os cuidados com a prole, fazendo com que um número maior de filhos sobreviva até a idade reprodutiva.

Podemos dizer então que a seleção natural é uma reprodução diferencial, ou seja, uma consequência do fato de indivíduos com genótipos diferentes terem sucesso reprodutivo distinto.

Os cientistas já estudaram vários casos de seleção natural. O processo é mais facilmente observado em populações que se reproduzem de forma rápida, como bactérias e certos insetos que atacam plantações. Vejamos alguns exemplos na natureza.

A resistência de bactérias aos antibióticos

Eventualmente aparece no ambiente, por mutação, um gene que confere resistência a determinado antibiótico; a bactéria com esse gene é capaz de, por exemplo, fabricar uma enzima que destrói a substância antibiótica.

Veja que, no início, os mutantes resistentes são raros; a partir do momento em que o antibiótico aparece, esses mutantes passam a ter muito mais possibilidade de sobreviver que os indivíduos sensíveis, que são a maioria na população. Por isso a frequência de indivíduos resistentes aumenta aos poucos e eles podem acabar constituindo, depois de algum tempo, praticamente toda a população.

A teoria sintética – ver (in)estabilidade genética e seleção natural 129

Processos evolutivos

Os conteúdos destes boxes enfatizam algumas das principais evidências dos processos evolutivos que resultaram na biodiversidade que observamos atualmente. Para compreender a Biologia, é fundamental entender os processos evolutivos.

Fique de olho!

Pequenos boxes que fornecem dicas sobre pontos do texto principal.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Atenção! Ainda que se peça "Assinale", "Indique", etc. em algumas questões, nunca escreva no livro. Responda a todas as questões no caderno.

ATENÇÃO

Quando você encontrar este selo, leia atentamente o que se segue. Ele apresenta informações importantes de saúde e segurança.

Sumário

Unidade 1: Genética: o trabalho de Mendel

CAPÍTULO 1
Primeira lei de Mendel 11
1 Hereditariedade: os primeiros estudos 12
2 Tipos de dominância 19
3 Regras de probabilidade 21
4 Monoibridismo no ser humano 23
5 Gene e ambiente 25
Atividades 27

CAPÍTULO 2
Segunda lei de Mendel 32
1 Experiência de Mendel 33
2 Tri-hibridismo e poli-hibridismo 38
Atividades 40
Sugestões de aprofundamento 43

Unidade 2: A genética depois de Mendel

CAPÍTULO 3
Grupos sanguíneos e polialelia 45
1 Antígenos e anticorpos 46
2 Sistema ABO de grupos sanguíneos 46
3 Sistema Rh de grupos sanguíneos 49
4 Alelos múltiplos em coelhos 51
Atividades 53

CAPÍTULO 4
Interação gênica e pleiotropia 56
1 Conceitos gerais 57
2 Interação não epistática 58
3 Interações epistáticas 59
4 Herança quantitativa 62
5 Pleiotropia 66
Atividades 67

CAPÍTULO 5
Ligação gênica 69
1 Ligação gênica e permutação 70
2 Cálculo da taxa de permutação 72
3 O cruzamento-teste e a taxa de recombinação 74
Atividades 78

CAPÍTULO 6
Sexo e herança genética 81
1 Cromossomos sexuais 82
2 Herança ligada ao sexo 83
3 Outros tipos de herança relacionada ao sexo 87
4 Herança materna 88
5 Alterações nos cromossomos sexuais 88
Atividades 90

CAPÍTULO 7
As aplicações da genética molecular 93
1 A tecnologia do DNA recombinante 94
2 Análise do DNA 98
3 Diagnóstico e tratamento de doenças genéticas 99
4 Sequenciamento de genomas 100
5 Organismos geneticamente modificados 102
Atividades 105
Sugestões de aprofundamento 109

Shutterstock/Glow Images

Unidade 3: Evolução

CAPÍTULO 8

Evolução: as primeiras teorias 111

1 Fixismo 112

2 Lamarckismo 112

3 Darwinismo 114

Atividades 122

CAPÍTULO 9

A teoria sintética: variabilidade genética e seleção natural 125

1 Um pouco de História 126

2 Variabilidade genética: mutações e reprodução sexuada 127

3 Seleção natural 129

Atividades 133

CAPÍTULO 10

A teoria sintética: genética das populações e formação de novas espécies 137

1 Evolução: uma mudança na frequência dos alelos da população 138

2 Formação de novas espécies 141

Atividades 149

CAPÍTULO 11

Evolução: métodos de estudo 151

1 Fósseis 152

2 Embriologia e anatomia comparadas 155

3 Estudos moleculares 157

Atividades 158

CAPÍTULO 12

A evolução humana 161

Evolução da espécie humana 162

Atividades 166

Sugestões de aprofundamento 169

Michael Zysman/Shutterstock/Glow Images

M. Reel/Shutterstock/Glow Images

Ryan M. Bolton/Shutterstock/Glow Images

Unidade 4: Ecologia

CAPÍTULO 13

O campo de estudo da Ecologia 171

1 Níveis de organização da vida 172

2 *Habitat* e nicho ecológico 174

Atividades 174

CAPÍTULO 14

Cadeias e teias alimentares..... 176

1 Cadeia alimentar 177

2 Teia alimentar 179

3 Pirâmides ecológicas 181

4 Poluição e desequilíbrio nas cadeias alimentares 182

Atividades 184

CAPÍTULO 15

Populações 187

1 Crescimento das populações 188

2 Crescimento da população humana 191

Atividades 193

CAPÍTULO 16

Relações entre os seres vivos 197

1 Tipos de relações 198

2 Reuniões e sociedades 198

3 Colônias 201

4 Mutualismo 201

5 Protocooperação 203

6 Comensalismo 204

7 Competição intraespecífica 205

8 Competição interespecífica 205

9 Predatismo e herbivoria 206

10 Parasitismo 208

Atividades 211

CAPÍTULO 17

Sucessão ecológica..... 214

1 Etapas da sucessão 215

2 Sucessão primária e secundária 217

Atividades 218

Sugestões de aprofundamento 219

Ryan M. Bolton/Shutterstock/Glow Images

Unidade 5: Biosfera e poluição

CAPÍTULO 18

Ciclos biogeoquímicos 221

1 Ciclo do carbono 222
2 Ciclo do oxigênio 227
3 Ciclo da água 228
4 Ciclo do nitrogênio 230
Atividades 233

CAPÍTULO 19

Distribuição dos organismos 238

1 Epinociclo 239
2 Biomas brasileiros 245
3 Ambientes aquáticos 256
Atividades 259

CAPÍTULO 20

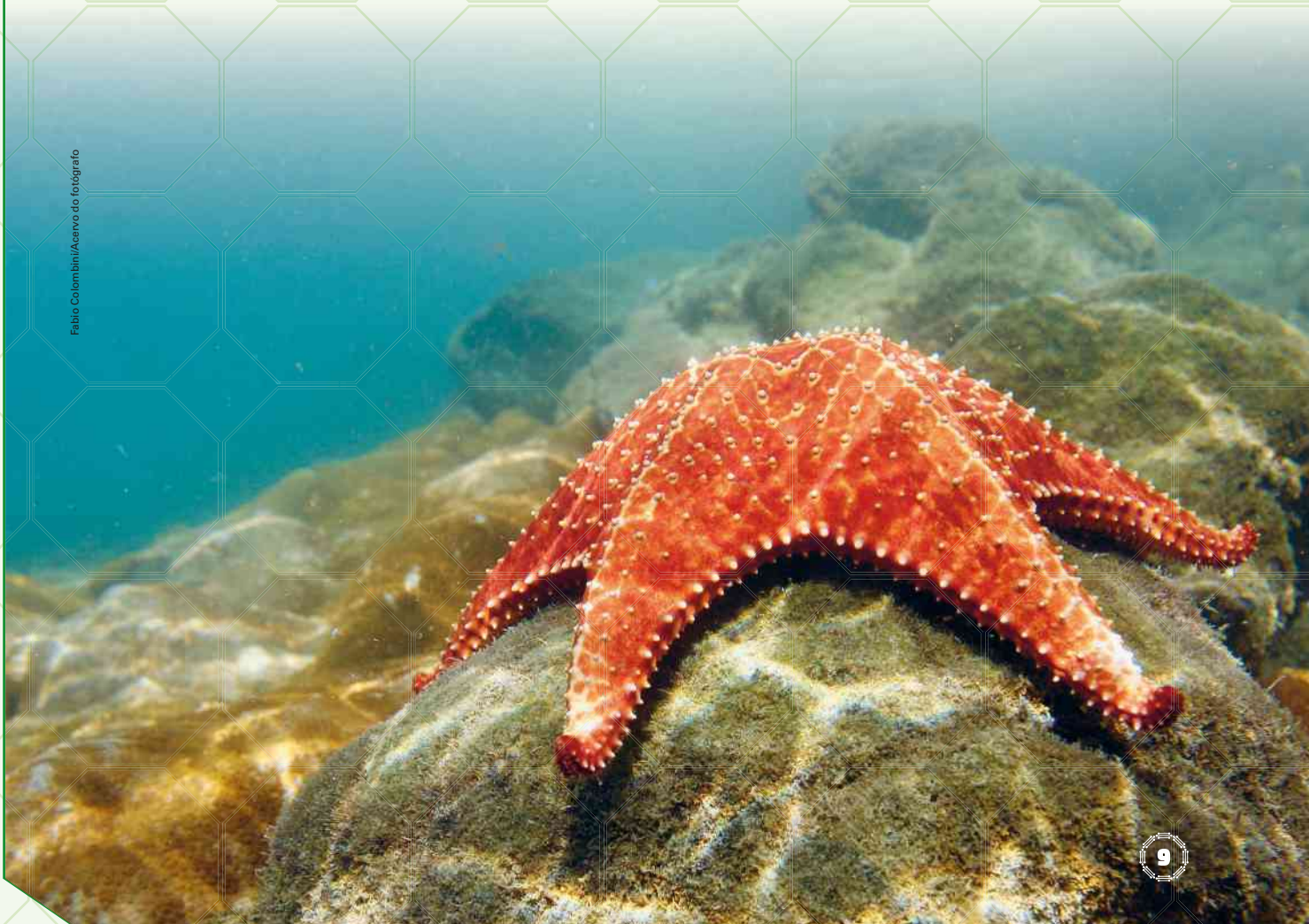
Poluição 263

1 Poluição do ar 264
2 Poluição da água 266
3 Destruição dos solos 271
4 Resíduos sólidos 275
5 Poluição radioativa 278
6 Poluição sonora 279
7 Destruição da biodiversidade 279
Atividades 282
Sugestões de aprofundamento 285

Respostas das questões de múltipla escolha ... 286

Sugestões de leitura para o aluno 287

Bibliografia 288



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

UNIDADE 1

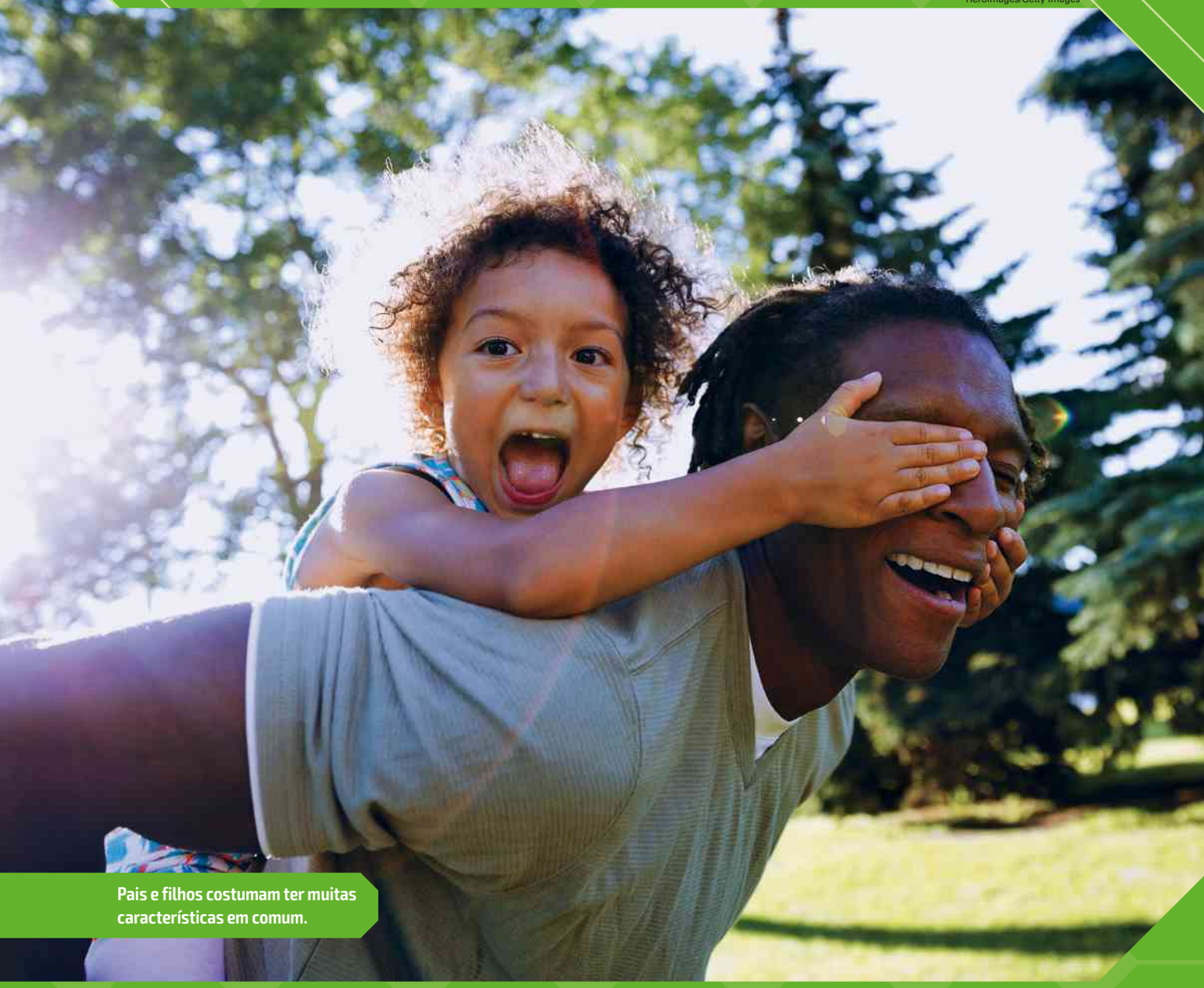
Genética: o trabalho de Mendel

A Genética é a parte da Biologia que estuda as leis da hereditariedade, ou seja, como o potencial para certas características é transmitido pelos genes de pais para filhos através das gerações. Por meio do estudo da Genética, podemos compreender melhor a relação entre os cromossomos e os genes, aplicando o conhecimento que adquirimos sobre as células e as formas como estas podem se dividir. O conhecimento sobre os mecanismos de hereditariedade também nos mostra que a forma como os organismos se apresentam e se comportam depende de uma série de fatores que vão muito além dos genes.

CAPÍTULO 1

Primeira lei de Mendel

HeroImages/Getty Images



Pais e filhos costumam ter muitas características em comum.

Se você tem irmãos, provavelmente já percebeu que vocês têm algumas características em comum: o cabelo, o formato dos olhos ou o tom de pele. Mas, a não ser que sejam gêmeos idênticos, dois irmãos são sempre diferentes entre si. Enquanto algumas de nossas características são construídas de acordo com o ambiente que nos cerca e a cultura na qual estamos inseridos, outras foram herdadas de nossos pais. Você sabe como isso acontece? Vamos ver agora como Gregor Mendel começou a desvendar os mecanismos de herança de características dos pais para os filhos.

- *Por que os filhos são parecidos com os pais?*
- *E os irmãos, por que geralmente se parecem, mas não são iguais?*
- *Você conhece a primeira lei de Mendel? O que essa lei procura explicar?*

1 Hereditariedade: os primeiros estudos

A semelhança entre pais e filhos foi explicada de diversas maneiras ao longo da História.

Até meados do século XVIII, alguns cientistas acreditavam na **teoria da pré-formação**, segundo a qual cada espermatozoide abrigaria um indivíduo em miniatura, totalmente formado, e bastaria apenas ele crescer e se desenvolver no útero da mãe. Outros cientistas acreditavam na **teoria da epigênese**, que defendia que o embrião se desenvolve a partir de uma matéria indiferenciada, sem organização, sem estruturas pré-formadas. Hoje sabemos que o desenvolvimento é controlado por genes em interação com moléculas do ambiente.

Em 1868, o famoso cientista inglês Charles Darwin (1809-1882), que propôs o princípio da seleção natural, defendia a **teoria da pangênese** (do grego *pân* = todo; *genesis* = origem, formação), segundo a qual os elementos sexuais continham partículas minúsculas, as **gêmulas** (do latim *gemmula* = pequeno broto), provenientes de todas as partes do corpo. Essas partículas seriam transmitidas através das gerações e seriam responsáveis pela hereditariedade.

Para alguns cientistas, eram os fluidos do corpo, como o sangue, que continham as características transmitidas. Ainda hoje há vestígios desse conceito em expressões como cavalo "puro-sangue" e indivíduo de "sangue azul".

Havia também a ideia de que os elementos determinantes das características paternas e maternas se misturavam nos filhos: era a **teoria da herança misturada**. E uma vez que esses elementos tivessem sido misturados, eles não se separariam mais. Essas ideias se mantiveram por quase todo o século XIX.

De 1858 a 1866, o monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884; figura 1.1) realizou pesquisas sobre a hereditariedade em ervilhas da espécie *Pisum sativum* no jardim do mosteiro na cidade de Brünn, na Áustria (hoje Brno, na República Tcheca; pronuncia-se "brunó"). Em 1866, Mendel publicou o resultado de suas pesquisas. No entanto, seu trabalho não recebeu a merecida atenção, sendo praticamente ignorado pela comunidade científica.

Em 1900, 34 anos depois, os botânicos Carl E. Correns (alemão, 1864-1933), Hugo de Vries (holandês, 1848-1935) e o agrônomo Erich von Tschermak-Seysenegg (austríaco, 1871-1962), trabalhando de forma independente, chegaram às mesmas conclusões que levaram Mendel a propor as leis da hereditariedade.

Figura 1.1 Gregor Mendel – por suas experiências recebeu o título de "pai da Genética".

Os experimentos de Mendel

Uma das razões dos bons resultados de Mendel foi a escolha da ervilha da espécie *Pisum sativum* (figura 1.2). Essa planta apresenta uma série de características que facilitam o estudo de seu ciclo de vida: é de fácil cultivo; produz muitas sementes e, consequentemente, grande número de descendentes; a flor é hermafrodita e pode se reproduzir por autofecundação (isto é, a parte masculina pode fecundar a própria parte feminina), mas também pode-se conseguir fecundação cruzada entre dois pés de ervilha.

Além dessas vantagens, a ervilha apresenta algumas características simples e contrastantes: a cor da semente é amarela ou verde, sem tonalidades intermediárias; a forma da semente é lisa ou rugosa; em relação à altura, ou a planta era muito alta, com 2 metros ou mais, ou muito baixa, com menos de 0,5 metro. Veja essas e outras características na tabela abaixo (figura 1.2).

Ilustrações: Ingeborg Asbach/Arquivo da editora; fotos: Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

Características das ervilhas estudadas por Mendel		
Forma da semente	lisa	rugosa
Cor da semente	amarela	verde
Forma da vagem	lisa	ondulada
Cor da vagem	verde	amarela
Cor da flor	púrpura	branca
Posição da flor	axial (ao longo do caule)	terminal (na ponta do caule)
Tamanho da planta	alta (cerca de 2 m)	baixa (menos de 0,5 m)

Nigel Cattlin/Photo Researchers/Latinstock

Figura 1.2 Na tabela, algumas das principais características do pé de ervilha (os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia). Na foto, pé de ervilha. (O caule dessas plantas varia muito em altura, dependendo da espécie, mas tem, em geral, entre 0,2 m e 2,4 m de comprimento.)

O fato de Mendel ter analisado uma característica de cada vez, sem se preocupar com as demais, também contribuiu para o sucesso de suas pesquisas. Antes dele, estudiosos que analisaram simultaneamente muitas características acabaram desorientados com todas as combinações que surgiram.

Além disso, Mendel sempre analisava um grande número de descendentes em cada geração para determinar a proporção das características estudadas. O monge evitava, assim, conclusões erradas, resultantes de simples coincidências. Mendel, portanto, tinha bons conhecimentos de estatística, o que não era comum na época.

Os primeiros cruzamentos

Mendel supôs que, se uma planta tinha semente amarela, ela devia possuir algum "elemento" (Mendel falava em *Element*, 'elemento' em alemão) ou "fator" responsável por essa cor. O mesmo ocorreria com a planta de semente verde, que teria um fator determinando a coloração.

Em um dos seus experimentos, ele começou cruzando plantas de sementes amarelas com plantas de sementes verdes. Antes, porém, selecionou plantas puras, isto é, sementes amarelas que só originassem plantas com sementes dessa cor, e sementes verdes que só produzissem plantas com sementes verdes. Para isso, escolhia um indivíduo e observava os resultados da autofecundação ao longo de seis gerações (cerca de dois anos). Em cada geração, analisava um grande número de descendentes e, se nenhum deles produzisse sementes de cor diferente da cor do indivíduo inicial, concluía que se tratava de uma planta pura.

Acompanhe a figura 1.3: em um desses experimentos, Mendel observou que todas as sementes da geração $\mathbf{F_1}$ eram amarelas. O que teria acontecido com o fator para a cor verde? A resposta veio com o reaparecimento (por autofecundação) de sementes verdes em $\mathbf{F_2}$. Assim, Mendel concluiu que o fator para a cor verde não tinha sido destruído, apenas não se manifestava na presença do fator para a cor amarela. Com base nisso, resolveu considerar **dominante** a característica "ervilha amarela" e **recessiva** a característica "ervilha verde".

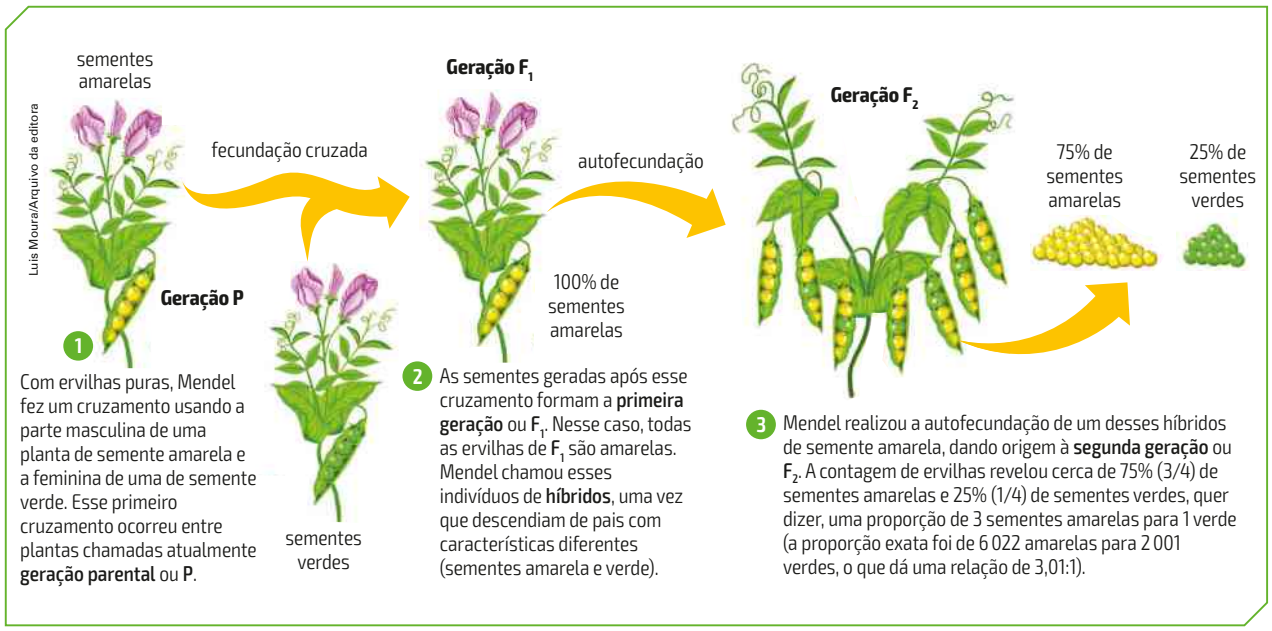


Figura 1.3 Experimento com ervilhas verdes e amarelas (os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia).

Em outros cruzamentos, Mendel constatou que também havia uma característica dominante e outra recessiva. Na tabela da página 13, as características da primeira coluna são dominantes e as da segunda, recessivas: a superfície da semente pode ser lisa ou rugosa, sendo o caráter liso dominante sobre o rugoso; a cor da flor pode ser branca ou púrpura, sendo o caráter púrpura dominante sobre o branco.

As conclusões de Mendel

Todos os casos estudados por Mendel apresentavam resultados semelhantes ao que foi visto para a cor da ervilha: a geração F_1 – resultante do cruzamento entre dois indivíduos puros (um dominante e outro recessivo) – tinha a característica dominante; a geração F_2 apresentava uma proporção média de 3 dominantes para 1 recessivo. Em 7 324 ervilhas havia, por exemplo, 5 474 lisas e 1 850 rugosas.

Os resultados de Mendel podem ser explicados com as seguintes hipóteses:

- Cada organismo possui um par de fatores responsável pelo aparecimento de determinada característica.
- Esses fatores são recebidos dos indivíduos paterno e materno; cada um contribui com apenas um fator de cada par.
- Os fatores de um par contrastante de características não se misturam. Durante a formação dos gametas, os fatores aparecem em dose simples, ou seja, cada gameta possui apenas um fator. Como vimos na experiência de Mendel, por exemplo, o gameta possui ou o fator para amarelo ou o fator para verde.

Esta última conclusão ficou conhecida como **primeira lei de Mendel**, **lei da segregação de um par de fatores** ou **lei do monoibridismo**, uma vez que ela se aplica ao estudo de híbridos em relação a apenas uma característica. É costume enunciá-la assim: "Cada caráter é condicionado por um par de fatores que se separam na formação dos gametas, nos quais ocorrem em dose simples".

Fique de olho!
Essas leis não se aplicam a todos os tipos de herança, isto é, elas são válidas apenas dentro de certos limites e para determinados casos.

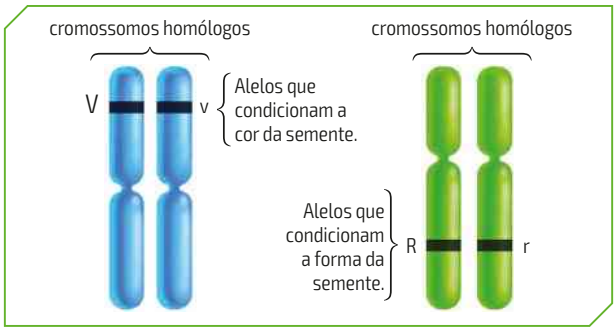
Interpretação atual dos fatores propostos por Mendel

Com base nos conhecimentos atuais sobre meiose, cromossomos e genes, podemos interpretar as conclusões de Mendel e explicar, em nível celular e até molecular, como suas leis são válidas.

As células do corpo da maioria dos organismos são **diploides** (**2n**; do grego *diploos* = duplo; *eidos* = semelhante), ou seja, nelas os cromossomos ocorrem aos pares: há dois cromossomos de cada tipo. Os cromossomos de um mesmo par possuem o mesmo tamanho e a mesma forma: são chamados de **cromossomos homólogos** (do grego *homoios* = igual; *logos* = relação). Em cada par, um dos cromossomos tem origem materna; o outro, paterna.

O lugar em um cromossomo onde um gene está situado é chamado **loco** (ou **lócus**) **gênico** ou, simplesmente, **loco** (do latim *locus* = lugar). Um par de cromossomos homólogos apresenta genes que atuam nas mesmas características (por exemplo, a cor da semente ou a forma da vagem).

Em cromossomos homólogos pode haver formas ou versões diferentes de um mesmo gene. Essas diferentes versões são chamadas **alelos** (palavra que, em grego, significa 'de um a outro', indicando reciprocidade). Assim, em um cromossomo pode haver um alelo do gene para cor da semente que determina semente amarela, e no loco correspondente do outro cromossomo do par pode haver um alelo que determina semente verde (figura 1.4).



Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 1.4 Esquema simplificado representando dois dos sete pares de cromossomos homólogos da célula da ervilha e dois pares de alelos. O gene para cor da semente, por exemplo, tem dois alelos, um para cor amarela (**V**) e outro para cor verde (**v**). (Comprimento dos cromossomos: de 1 µm a 10 µm; cores fantasia.)

Como vimos, embora controlem o mesmo tipo de característica, os alelos podem ter efeitos diferentes. Vejamos mais um exemplo.

Na ervilha existem sete pares de cromossomos homólogos. Em um desses pares está o gene que determina a forma da semente (figura 1.4). Um dos cromossomos pode ter o alelo que determina o caráter liso e o seu homólogo pode ter o alelo que determina o caráter rugoso. Por convenção, usamos a letra inicial do caráter recessivo (rugoso, neste caso) para denominar os alelos: o alelo responsável pela característica dominante é indicado pela letra maiúscula e o responsável pela característica recessiva, pela minúscula. Assim, o alelo para a forma lisa da semente é chamado de **R** e o alelo para a forma rugosa, de **r**.

Um indivíduo puro ou **homozigoto** (do grego *homoios* = igual; *zygos* = par) para determinado caráter apresenta o mesmo alelo nos dois cromossomos do par de homólogos, enquanto o indivíduo híbrido ou **heterozigoto** (do grego *hétero* = diferente; *zygos* = par) possui alelos diferentes. Devemos lembrar que estamos considerando apenas um gene do cromossomo de cada vez, mas cada cromossomo pode conter milhares de genes que atuam em muitas características.

Genótipo e fenótipo

O conjunto de genes que um indivíduo possui em suas células é chamado de **genótipo** (do grego *gen* = gerar; *typos* = tipo). O conjunto de características morfológicas ou funcionais do indivíduo é o seu **fenótipo** (do grego *phainein* = fazer aparecer).

Para a cor, se a ervilha apresentar dois alelos **V** no par de homólogos, seu genótipo será **VV** e o fenótipo será ervilha amarela. Se apresentar dois alelos **v**, terá genótipo **vv** e fenótipo ervilha verde. Caso apresente o alelo **V** em um cromossomo e **v** no outro, terá genótipo **Vv** e fenótipo ervilha amarela, uma vez que o alelo para cor amarela é dominante. Um alelo dominante é aquele que tem seu efeito manifestado da mesma forma tanto no homozigoto quanto no heterozigoto.

As ervilhas **VV** e **vv** são puras ou **homozigotas**. A ervilha **Vv** é híbrida ou **heterozigota**. Assim, um indivíduo com fenótipo dominante para determinada característica pode ser homozigoto ou heterozigoto, mas, se tiver fenótipo recessivo, será obrigatoriamente homozigoto, já que o alelo recessivo só se manifesta em dose dupla.

Na figura 1.5, veja alguns dos genótipos e os respectivos fenótipos das ervilhas de Mendel.

Célula	Genótipo	Fenótipo
V V	VV	
V v	Vv	
v v	vv	
R R	RR	
R r	Rr	
r r	rr	

Figura 1.5 Genótipos e fenótipos para cor e forma da ervilha (os elementos acima não estão na mesma escala; células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia).

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora; fotos: Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

Meiose: separação dos cromossomos homólogos

Para compreender como as leis de Mendel funcionam, vejamos alguns aspectos da meiose (a divisão celular por meiose foi estudada com mais detalhes no Volume 1 desta coleção).

Como vimos, a maioria dos organismos possui pares de cromossomos em suas células. Os gametas, no entanto, são células **haploides** (**n**; do grego *haploos* = simples, único; *eidos* = semelhante), isto é, possuem metade dos cromossomos das outras células. Ou seja, cada gameta possui apenas um cromossomo de cada par de homólogos. Essa redução no número de cromossomos ocorre durante a meiose (figura 1.6).

Observe que na meiose os cromossomos homólogos se separam; ao final da divisão meiótica, cada gameta receberá apenas um alelo de cada par. No caso da célula representada na figura 1.6, os gametas serão **V** ou **v**.

No início da meiose, os cromossomos estão duplicados: cada um é formado por duas cromátides (cromátides-irmãs). Os cromossomos homólogos se emparelham: o cromossomo duplicado de origem paterna fica alinhado com seu homólogo de origem materna. Durante a metáfase I, os cromossomos homólogos duplicados se colocam um de cada lado da região mediana da célula e separam-se: cada componente do par vai para uma célula.

Na segunda divisão da meiose, os cromossomos duplicados alinham-se na região mediana de cada célula e as cromátides separam-se: cada cromátide vai para um dos polos da célula. Formam-se, assim, quatro células, cada uma com um cromossomo simples de cada par de homólogos. Observe na figura 1.6 que, no fim da meiose, formam-se células com apenas um destes alelos: **V** ou **v**.

A união dos gametas masculino e feminino produz um ovo ou zigoto, restaurando o número diploide de cromossomos (figura 1.7).

Em cada par de cromossomos homólogos desse zigoto, um dos cromossomos vem sempre do pai e o outro, da mãe; consequentemente, isso ocorre também com os pares de alelos (figura 1.7). Por meio de mitoses, que produzem células idênticas, forma-se um novo indivíduo, que terá em todas as suas células a mesma coleção de cromossomos que estava no zigoto.

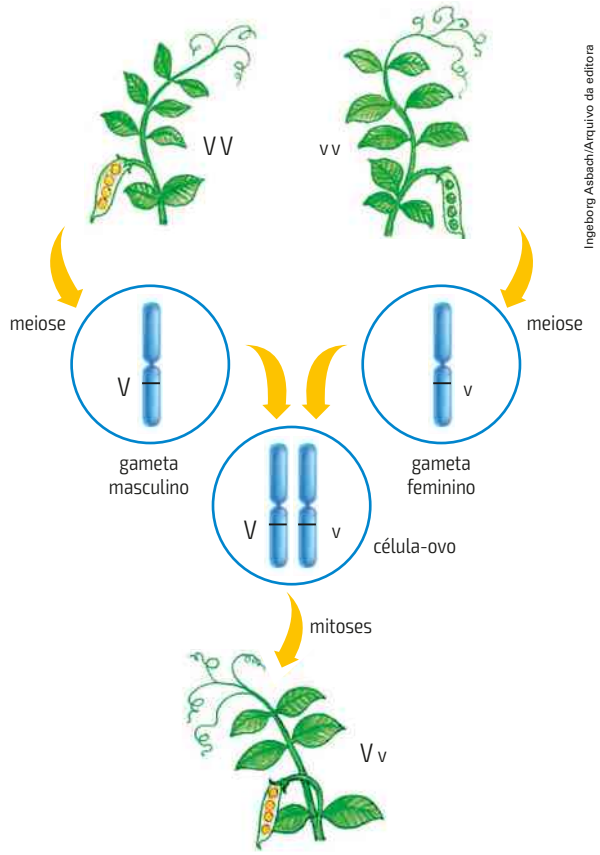


Figura 1.7 Com a fecundação, forma-se novamente um indivíduo com o número diploide de cromossomos. Observe que cada cromossomo de um par de homólogos veio de um indivíduo diferente. (Gametas e cromossomos são microscópicos; os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

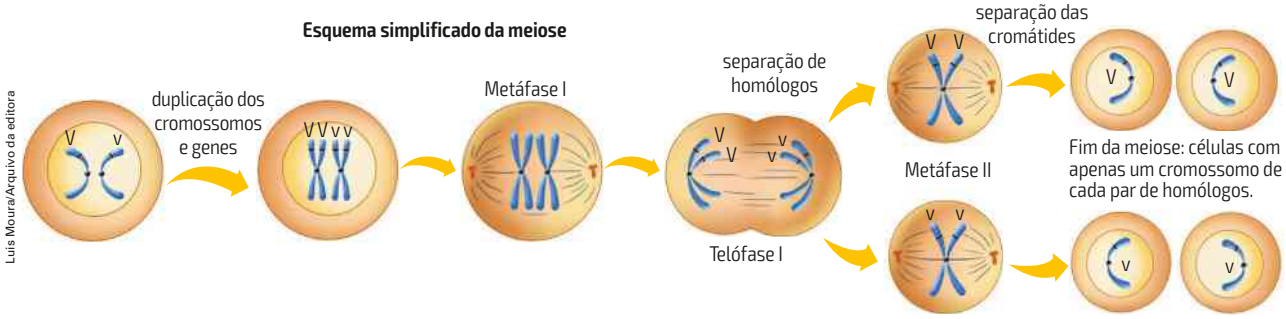


Figura 1.6 Esquema simplificado da meiose, indicando apenas um par de cromossomos. Algumas fases da divisão foram suprimidas. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Interpretação atual da primeira lei de Mendel

Os conhecimentos que acabamos de ver podem ser aplicados à experiência e às conclusões de Mendel. Vejamos a cor das sementes, sem esquecer que o mesmo raciocínio vale para as demais características estudadas por Mendel.

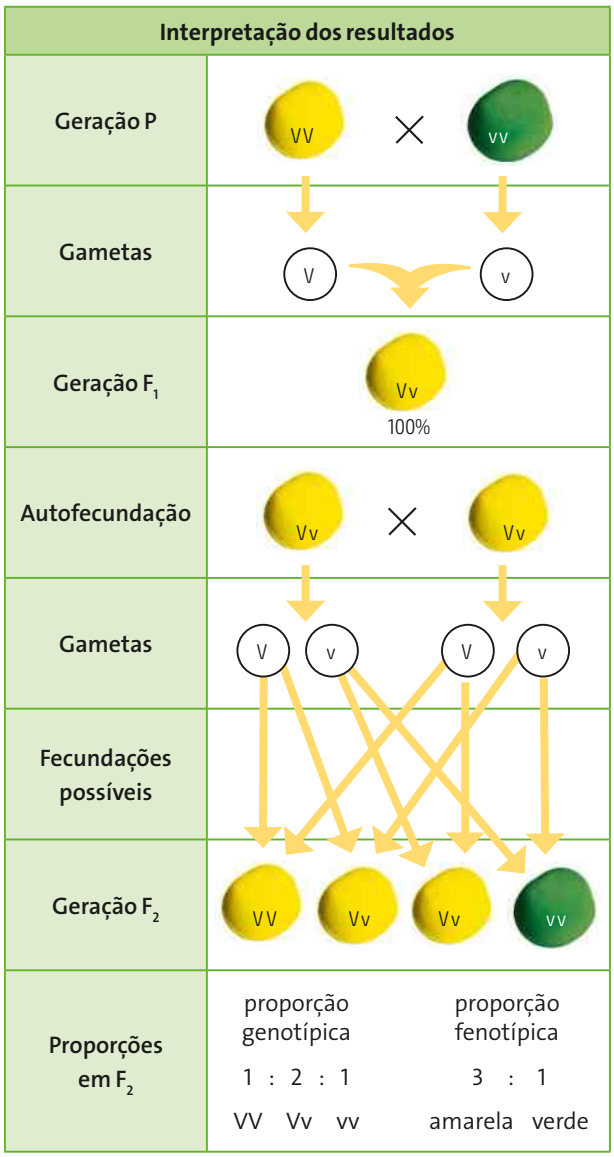
Nas plantas de ervilha, o estame (**2n**) produz, por meiose, esporos (**n**). Estes se desenvolvem e formam grãos de pólen, que geram em seu interior o gameta masculino (**n**). Assim, se as células do estame forem **Vv**, serão produzidos gametas masculinos **V** e outros **v**. O carpelo (**2n**) produz, por meiose, esporos (**n**), que se desenvolvem no saco embrionário, contendo o gameta feminino (**n**). Assim, se as células do carpelo forem **Vv**, formam-se gametas femininos **V** e outros **v**.

Quando os grãos de pólen caem no carpelo (ou são levados artificialmente para outra flor, como no caso da ervilha de Mendel), vários gametas femininos são fecundados e formam-se os zigotos. Os zigotos se desenvolverão em embriões, cada um dentro de uma semente (a ervilha). As sementes ficam nos frutos, que, nesse caso, são as vagens. Por isso, ao analisarmos os tipos de semente dentro das vagens, estamos analisando os indivíduos da geração seguinte à da planta que produziu a vagem.

Se a semente é amarela, isso significa que nas células dela (e da planta que germinará) existe um alelo **V** determinando essa cor. Se ela é pura, ou homozigota, os dois alelos são iguais. Portanto, os indivíduos da geração **P** (lembre-se de que a geração **P** deve ser pura) de fenótipo amarelo têm genótipo **VV**. Com o mesmo raciocínio, podemos concluir que as ervilhas verdes apresentam genótipo **vv**.

Veja na figura 1.8 como interpretamos o cruzamento entre ervilhas amarelas e verdes puras e a autofecundação das ervilhas resultantes.

O indivíduo **VV** produz por meiose células **V**; e o indivíduo **vv**, células **v**. A união de gametas **V** e **v** origina indivíduos heterozigóticos, **Vv**, de fenótipo amarelo, porque **V** domina **v**. A autofecundação de indivíduos **Vv** equivale ao cruzamento entre dois indivíduos iguais (**Vv** e **Vv**). Cada um produz por meiose gametas **V** e **v** na mesma proporção: 50% com o alelo **V** e 50% com o alelo **v**.



Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

Figura 1.8 Interpretação dos resultados do cruzamento entre plantas de ervilhas amarelas e verdes puras e da autofecundação das ervilhas resultantes (as sementes medem de 7 mm a 10 mm de diâmetro).

As fecundações ocorrem ao acaso: o fato de um gameta possuir determinado alelo não faz com que ele tenha chance maior de fecundar ou ser fecundado.

Logo, serão quatro combinações possíveis para os filhos da segunda geração: um **VV**, dois **Vv** e um **vv** (isto é, três amarelos e um verde), justificando o resultado de Mendel, 75% amarelos e 25% verdes.

A proporção de genótipos (PG) é de:
1 **VV** : 2 **Vv** : 1 **vv**
A proporção de fenótipos (PF) é de:
3 **amarelos** : 1 **verde**

Veja a seguir as conclusões de Mendel e as interpretações com base nos conhecimentos atuais (figura 1.9).

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Conclusões de Mendel	Interpretações atuais
Cada caráter é condicionado por um par de fatores.	cromossomos homólogos V v Alelos que condicionam a cor da semente. Cada caráter é condicionado por um par de alelos.
Esses fatores se separam na formação dos gametas.	Metáfase I V V v v Telófase I V V v v Metáfase II Fim da meiose: células com apenas um cromossomo de cada par de homólogos. V V v v Em consequência do emparelhamento e da separação dos cromossomos homólogos na meiose, os alelos se separam na formação dos gametas.
Nos gametas, os fatores ocorrem em dose simples, ou seja, os gametas são puros.	V v Gameta com alelo V Gameta com alelo v Como a meiose produz células com apenas um cromossomo do par, cada gameta possui apenas um alelo de cada par de alelos. Não há, portanto, "gametas híbridos".

Figura 1.9 Interpretações das conclusões de Mendel de acordo com os conhecimentos científicos atuais.

É importante lembrar que, ao estudar acontecimentos ao acaso, usamos uma teoria da Matemática, a **teoria da probabilidade**, com aplicações em várias ciências. Quando falamos que, se jogarmos uma moeda muitas vezes para o alto, o resultado será de, aproximadamente, 50% de caras e 50% de coroas, estamos dizendo que a probabilidade de sair uma face da moeda ou a outra é praticamente a mesma: 50%. Quanto maior o número de lançamentos, mais os resultados obtidos se aproximarão dos valores esperados.

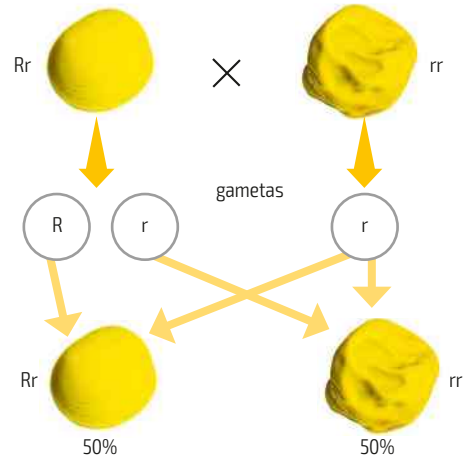
Isso significa que, como as fecundações ocorrem ao acaso, os resultados obtidos serão mais próximos aos resultados esperados quando analisarmos um grande número de filhos: quanto maior o número, menor o desvio estatístico (há testes estatísticos para avaliar esses desvios), ou seja, mais próximos devemos ficar da proporção esperada de 3 : 1 (fenotípica) ou de 1 : 2 : 1 (genotípica), na F_2 de Mendel. Ele teve essa preocupação e, por isso, analisava sempre grande número de indivíduos.

A primeira lei de Mendel vale para a transmissão de muitas características em várias espécies de plantas e animais.

Cruzamento-teste

Para descobrir se um indivíduo portador de um caráter dominante qualquer é homozigoto ou heterozigoto, basta cruzá-lo com um indivíduo recessivo para a característica em questão. Se surgir algum descendente com o caráter recessivo, o indivíduo analisado é heterozigoto; se obtivermos grande número de descendentes, todos com a característica dominante, há uma boa probabilidade de que ele seja homozigoto. Esse tipo de cruzamento é chamado **cruzamento-teste** (figura 1.10).

O cruzamento de indivíduos de F_1 com indivíduos da geração **P** ou com indivíduos de genótipos idênticos ao de um dos genitores é chamado **retrocruzamento** (do latim *retro* = atrás). Cruzamento-teste e retrocruzamento possuem o mesmo significado apenas quando o indivíduo de F_1 possui o fenótipo dominante e for cruzado com indivíduo da geração **P** de fenótipo recessivo.



Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

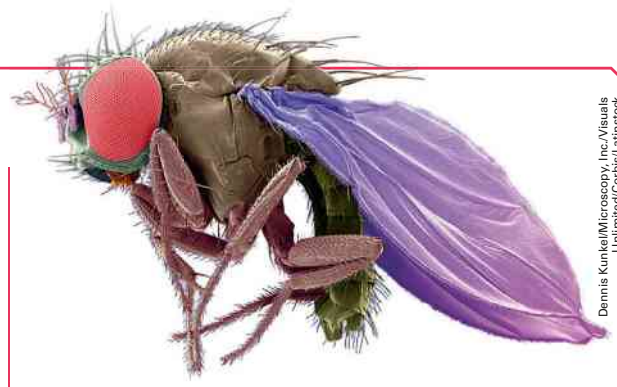
Figura 1.10 O cruzamento-teste permite descobrir se um indivíduo com característica dominante é homozigoto ou heterozigoto. (As ervilhas têm de 7 mm a 10 mm de diâmetro.)

História da ciência

A sala das moscas

Em 1902, quando o trabalho de Mendel já era conhecido, o citologista estadunidense Walter Sutton (1877-1916), estudando gafanhotos, demonstrou que os cromossomos ocorriam aos pares e que sua distribuição na formação dos gametas coincidia com os fatores hereditários de Mendel. Na mesma época, o zoólogo alemão Theodor Boveri (1862-1915), estudando gametas de ouriço-do-mar, percebeu que era necessário que os cromossomos estivessem presentes para que o desenvolvimento embrionário ocorresse. Surgia assim a chamada teoria cromossômica da hereditariedade ou teoria de Sutton-Boveri.

A identificação dos fatores de Mendel com os genes veio com os estudos do geneticista estadunidense Thomas Hunt Morgan e de seus alunos Alfred Sturtevant (1891-1970), Calvin Bridges (1889-1938) e Hermann Müller (1890-1967). Entre 1910 e 1915, eles realizaram pesquisas com a mosca drosófila (*Drosophila melanogaster*; em grego *Drosophila* significa 'atração por orvalho' e *melanogaster*, 'barriga escura'), também conhecida como mosca-das-frutas (figura 1.11). A mosca era alimentada com banana, e o laboratório de Morgan era conhecido na universidade como "sala das moscas".



Dennis Kunkel/Microscopy, Inc./Visuals Unlimited/Corbis/Latinstock

Figura 1.11 A genética deve muito aos estudos com drosófilas (cerca de 3 mm de comprimento; imagem colorizada por computador) feitos por Morgan e seus colaboradores.

Essa mosca é pequena, fácil de alimentar e de criar e cada fêmea é capaz de produzir centenas de ovos e desenvolver, em pouco tempo (duas semanas), grande número de filhotes, o que torna seu estudo bastante vantajoso. Em um ano pode-se estudar até vinte gerações de moscas. Além disso, ela possui apenas quatro tipos de cromossomos (os das células das glândulas salivares da larva são gigantes e facilmente visíveis ao microscópio) e muitas características fáceis de observar, como a cor dos olhos, o tipo de asa, etc.

Outro aspecto que facilitou o estudo da genética foi que, submetendo as moscas à irradiação por raios X em dose não letal, surgiram mutantes.

Fontes de pesquisa: MAYR, E. *The Growth of Biological Thought*. Cambridge: Harvard University Press, 1982. p. 747-776; HENIG, R. M. *O monge no jardim*: o gênio esquecido e redescoberto de Gregor Mendel, o pai da Genética. Rio de Janeiro: Rocco, 2001. p. 203-227.

2 Tipos de dominância

No caso da ervilha de Mendel, a presença de apenas um alelo para amarelo, por exemplo, é suficiente para produzir uma quantidade de proteínas responsável por um fenótipo igual ao do homozigoto de cor amarela. Trata-se, portanto, de uma **dominância completa**.

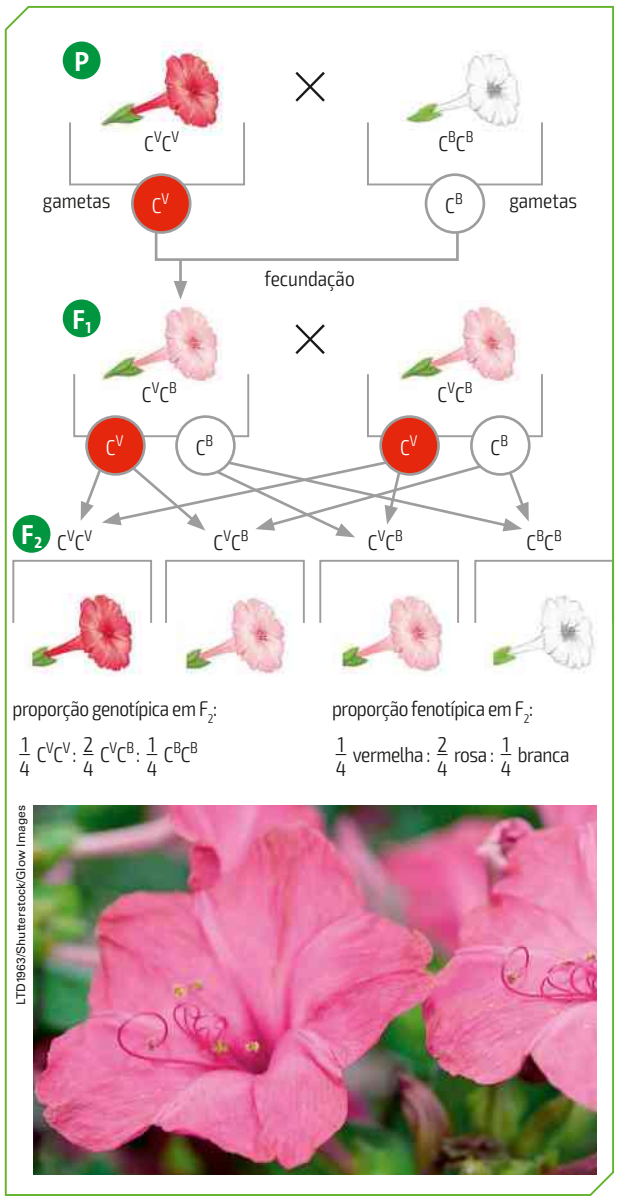
Na planta maravilha (*Mirabilis jalapa*), no entanto, o resultado do cruzamento entre plantas com flores vermelhas e plantas com flores brancas é uma planta com flores rosa. Dizemos então que há **dominância incompleta** entre os alelos, ou **ausência de dominância**.

Na dominância incompleta, o heterozigoto apresenta fenótipo intermediário em termos quantitativos em relação ao dos homozigotos: a presença de apenas um alelo para cor vermelha leva a planta a produzir o pigmento vermelho em menor quantidade; como o alelo para cor branca não produz pigmento, a planta será rosa.

Nesses casos, os alelos são representados por letras com índices, em vez de letras maiúsculas e minúsculas: a flor vermelha é $\mathbf{C^VC^V}$ (**C** de cor e **V** de vermelho); a branca, $\mathbf{C^BC^B}$; a rosa, $\mathbf{C^VC^B}$ (às vezes, essa notação é simplificada para **VV**, **BB** e **VB**).

Veja a figura 1.12: o cruzamento entre dois híbridos produz, em F_2, proporção genotípica igual à fenotípica (1 : 2 : 1).

Na **codominância**, cada alelo influencia a produção de proteínas diferentes. Com isso, o fenótipo do heterozigoto possui características presentes em ambos os homozigotos para esses alelos. Por exemplo, no sistema ABO de grupos sanguíneos (estudado no Capítulo 3), o alelo I^A leva à produção do antígeno **A**, presente na membrana da hemácia, e o alelo I^B leva à produção do antígeno **B**. O indivíduo I^AI^B tem, então, ambos os antígenos na hemácia e é do grupo sanguíneo AB.



Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

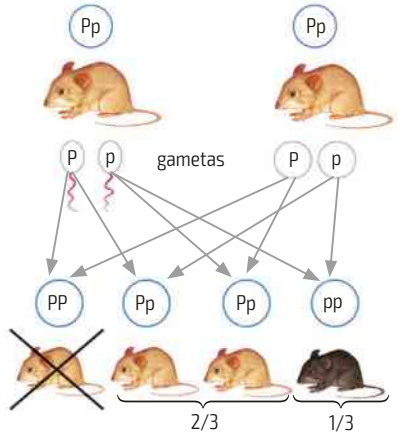
LTD1963/Shutterstock/Glow Images

Figura 1.12 Representação do cruzamento entre indivíduos cujas características apresentam dominância incompleta. Na foto, flor rosa da planta maravilha (cerca de 2,5 cm de diâmetro).

Alelos letais

Em camundongos, a pelagem amarela é determinada por um alelo dominante e a pelagem marrom-acinzentada, por um alelo recessivo. Mas o cruzamento de dois camundongos amarelos heterozigotos resulta em uma descendência de 2 amarelos para 1 marrom-acinzentado, e não a proporção esperada de 3 para 1.

Qual a explicação para esse resultado? Os embriões amarelos homozigotos formam-se, mas não se desenvolvem, pois, quando em dose dupla, o alelo responsável por pelo amarelo é **letal**, ou seja, provoca a morte do embrião. Como o alelo para amarelo (**P**) só mata o embrião em dose dupla, dizemos que ele é recessivo para letalidade, apesar de ser dominante para a cor do pelo. Assim, os indivíduos **Pp** são amarelos e sobrevivem; indivíduos **pp** são marrom-acinzentados e sobrevivem; e indivíduos são amarelos **PP** e morrem (figura 1.13).



Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

Figura 1.13 O alelo para pelo amarelo é letal em dose dupla. (Camundongos adultos têm entre 6 cm e 9 cm de comprimento, fora a cauda.)

Um exemplo de alelo letal em seres humanos está associado à acondroplasia, condição genética responsável por um dos tipos de nanismo (figura 1.14). Os indivíduos afetados pela acondroplasia são todos heterozigotos; o embrião ou feto portador de dois alelos para essa característica raramente sobrevive ao parto.

Reprodução/Museu do Prado, Madri, Espanha

Figura 1.14 Na obra *As meninas*, de Diego Velázquez (1656), é retratada (à direita, próximo ao cachorro) uma pessoa com acondroplasia: a alemã Mari Bárbola.

3 Regras de probabilidade

Existem duas regras simples de probabilidade que facilitam os cálculos em Genética: a **regra da multiplicação** (**do produto** ou **do** "**e**") e a **regra da adição** (ou **do** "**ou**").

Regra da multiplicação ou regra do "e"

Para determinar a probabilidade de, no lançamento de duas moedas, sair a face cara nas duas, devemos multiplicar as probabilidades isoladas.

Quando lançamos uma moeda, a probabilidade de sair cara é 1/2; no lançamento da segunda moeda, a probabilidade também é 1/2; logo, para as duas juntas (cara e cara), temos 1/2 × 1/2 = 1/4 (figura 1.15). Isso significa que, a cada quatro lançamentos do par de moedas, espera-se que saia cara em ambas uma vez. O mesmo vale para o caso de jogarmos uma moeda duas vezes: a probabilidade de obter cara no primeiro lançamento é 1/2 e a probabilidade de obter cara no segundo também é 1/2. Então, a probabilidade de obtermos duas caras é de 1/4.

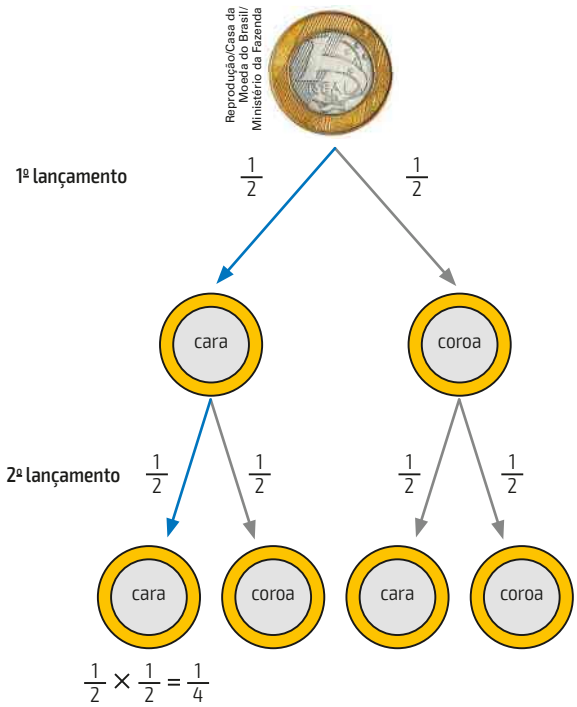


Figura 1.15 O diagrama acima mostra as probabilidades de ocorrer cada evento, a cada lançamento da moeda. Em destaque, a probabilidade de o resultado ser duas caras.

Do mesmo modo, a probabilidade de no lançamento de dois dados obtermos um deles com a face 5 e outro também com a face 5 é 1/6 × 1/6 = 1/36.

Assim, podemos concluir que a probabilidade de dois ou mais eventos independentes ocorrerem conjuntamente é o produto das probabilidades de cada um isolado. Dizemos que dois eventos são independentes quando a ocorrência de um evento não afeta a probabilidade da ocorrência do outro. Observe que o que estamos calculando é a probabilidade de ocorrer um evento **e** outro, daí o nome regra do "e".

No monoibridismo, aplicamos a regra da multiplicação quando realizamos o cálculo da proporção de filhos no cruzamento de dois heterozigotos. Cada indivíduo **Aa** produz gametas **A** e **a** na proporção de 50% (1/2) para cada um. A formação de um indivíduo **AA** depende do encontro simultâneo de dois gametas **A**, sendo um gameta masculino e um feminino. A probabilidade desse evento é o produto das probabilidades isoladas de cada gameta **A** ser produzido, ou seja, 1/2 × 1/2 = 1/4. Da mesma forma, a probabilidade para um descendente **aa** é de 1/2 × 1/2 = 1/4.

Outro exemplo: a probabilidade de um casal de heterozigotos em relação ao alelo do albinismo (caráter recessivo) ter dois filhos albinos é 1/16, pois, como a chance de nascer um filho albino é 1/4, a chance de nascerem dois filhos albinos é 1/4 × 1/4 = 1/16.

Regra da adição ou regra do "ou"

Qual a probabilidade de sair o número 1 ou o número 6 no lançamento de um mesmo dado?

A probabilidade de um dado cair com a face 1 voltada para cima é 1/6, assim como a de cair com a face 6 voltada para cima. Logo, a resposta é: 1/6 + 1/6 = = 2/6 = 1/3.

A regra da adição pode ser formulada assim: a probabilidade de ocorrerem dois acontecimentos que se excluem mutuamente é igual à soma das probabilidades de cada um ocorrer isoladamente. Nesse caso, os dois acontecimentos não podem ocorrer juntos (são mutuamente excludentes): se sair o número 1, não sai o 6 e, se sair este, não sai aquele. Observe que estamos calculando a probabilidade de ocorrer um evento **ou** outro, daí o nome de regra do "ou".

No monoibridismo, essa regra permite compreender por que a proporção de indivíduos **Aa** no cruzamento entre dois híbridos é 1/2. Esses indivíduos podem se formar de dois modos: se um espermatozoide **A** fecundar um óvulo **a** ou se um espermatozoide **a** fecundar um óvulo **A**. Como a probabilidade de cada um desses acontecimentos é 1/4, a probabilidade de surgirem indivíduos **Aa** será 1/4 + 1/4 = 2/4 = 1/2.

Vejamos mais este exemplo: em um lançamento de duas moedas, qual a probabilidade de em uma delas sair cara e na outra sair coroa?

Observe os resultados possíveis na figura 1.16. As faces cara e coroa em duas moedas podem ocorrer de duas maneiras, cada uma com probabilidade de 1/4.

Nesse caso, temos dois acontecimentos mutuamente exclusivos; portanto, usamos a regra da adição. A probabilidade do acontecimento é obtida somando as probabilidades de cada forma: 1/4 + 1/4 = 2/4 = 1/2. Se tivéssemos determinado a ordem dos acontecimentos – sair cara na moeda **A** e coroa na moeda **B**, por exemplo –, o resultado seria 1/4, pois, nesse caso, só haveria uma forma possível.

Como vemos, o resultado do lançamento de moedas e o encontro dos alelos na fecundação têm algo em comum: ambos são eventos aleatórios, que podem ser compreendidos pela teoria da probabilidade.

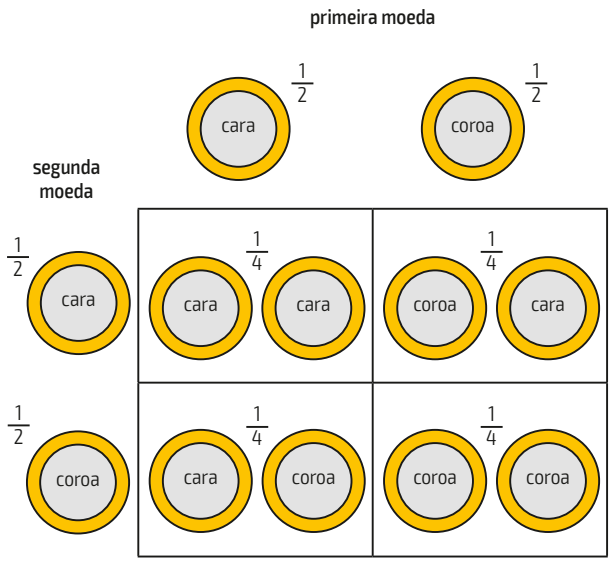


Figura 1.16 O diagrama mostra as probabilidades de ocorrer cada evento, no lançamento de duas moedas. Observe que há duas formas de obter o resultado de uma cara e uma coroa no lançamento de duas moedas.

Probabilidade condicional

A probabilidade de obter um resultado que depende de outro conhecido é chamada de probabilidade condicional. Vejamos alguns exemplos de sua aplicação em Genética.

a) Qual a probabilidade de uma semente na geração F_2 de Mendel ser heterozigota?

Resolução:

A proporção genotípica é 1/4 **AA**, 2/4 **Aa**, 1/4 **aa**. Portanto, a resposta é 1/2.

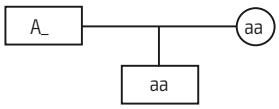
Se perguntássemos qual a probabilidade de uma semente amarela ser heterozigota, a resposta não seria 1/2 porque já temos a informação de que a semente não é verde. Eliminando essa possibilidade, chegamos ao resultado de 2/3. Observe no esquema a seguir, chamado quadrado de Punnett, que indica os alelos nos gametas masculino e feminino, que há 2 resultados em 3 que levam à formação de uma semente amarela heterozigota (considere que já sabemos que a semente não é verde e, por isso, excluímos dos resultados possíveis o genótipo **aa**).

♀ \ ♂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	~~aa~~

b) Um homem com pele pigmentada, filho de pais heterozigotos, casa-se com uma mulher albina (caráter recessivo). Qual a probabilidade de nascer um filho albino?

Resolução:

Observe o esquema a seguir (o traço horizontal entre os elementos indica a união entre o homem e a mulher):



Vemos que o homem pode ser homozigoto ou heterozigoto. Se for homozigoto, não terá filhos albinos. Portanto, há uma condição imposta no problema: para ter filho albino, ele tem de ser heterozigoto. A probabilidade de ser heterozigoto é 2/3, e não 2/4, pois, se ele tem pele com pigmentação normal, eliminamos a probabilidade de ser **aa**, ficando apenas 1/3 para pele pigmentada e homozigoto e 2/3 para pele pigmentada e heterozigoto. Se for heterozigoto (**Aa**), a probabilidade de nascer um filho albino no casamento com uma mulher albina é de 1/2 (**Aa** × **aa**: 1/2 **Aa** e 1/2 **aa**).

Como há dois eventos que precisam ocorrer simultaneamente – ser heterozigoto e, sendo heterozigoto, ter um filho albino –, multiplicamos essas duas probabilidades: 2/3 × 1/2 = 2/6 = 1/3. Portanto, a resposta é 1/3.

4 Monoibridismo no ser humano

A transmissão de algumas características humanas obedece à primeira lei de Mendel, o que significa que elas são condicionadas por um par de alelos. Quando isso acontece, dizemos que se trata de um caso de monoibridismo ou de **herança monogênica** (do grego *monos* = um). Essas características são **autossômicas** (do grego *autós* = próprio), isto é, devem-se a genes presentes nos autossomos, e não nos cromossomos sexuais (X e Y). Veja alguns exemplos na figura 1.17.

Lebrecht Music & Arts/Corbis/Latinstock

Albinismo, uma característica recessiva. Na foto, Hermeto Pascoal (1936-), compositor e multi-instrumentista brasileiro.

Oscar Burriel/SPL/Latinstock

SPL/Latinstock

Lobo de orelha solto ou livre (dominante) e preso ou aderido (recessivo).

Diana Koryakovtseva/Shutterstock/Glow Images

Presença de sardas (característica dominante).

Figura 1.17 Alguns exemplos de herança autossômica na espécie humana.

Uma forma de descobrir como ocorre a herança das características humanas é elaborar **heredogramas** (do latim *hers* = herança; *gramma* = letra, símbolo) ou **árvores genealógicas** (do grego *geneá* = descendência; *logos* = estudo). Esses esquemas apresentam, com uma série de símbolos, os indivíduos de uma família, indicando o grau de parentesco, o sexo, a geração, a ordem de nascimento, a presença de um caráter afetado por determinada anomalia, etc.

Veja na figura 1.18, abaixo, os símbolos usados nos heredogramas e seus significados. Abaixo deles está representado um heredograma de uma família em que aparece uma forma de albinismo (albinismo oculocutâneo tipo 1), causado por um alelo autossômico recessivo. No albinismo ocorre ausência parcial ou total de melanina na pele, no cabelo e nos olhos. Em geral, a pele é clara e rosada, os olhos podem ser azuis ou rosa-claros e os cabelos, brancos ou amarelados.

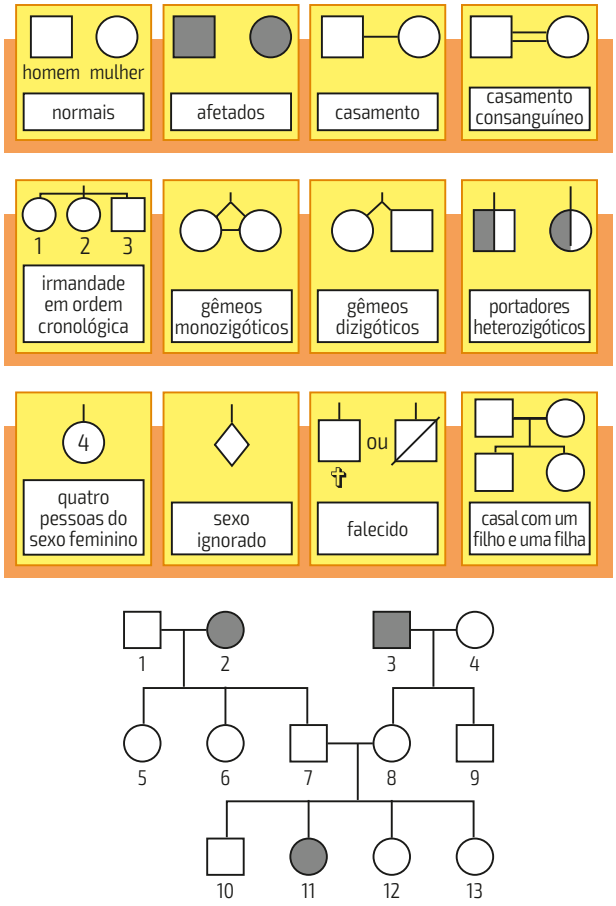
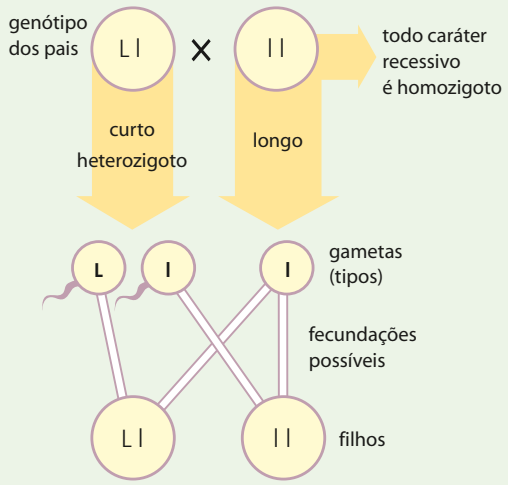


Figura 1.18 Símbolos usados nos heredogramas e exemplo de heredograma de uma família que apresenta indivíduos com uma forma de albinismo. Observe que o indivíduo 11 é uma menina albina; sua avó paterna (2) e seu avô materno (3) também são albinos.

Exercícios resolvidos

1. Em cobaias (porquinhos-da-índia), pelos curtos dominam pelos longos. Qual o resultado (genótipos e fenótipos) do cruzamento entre um macho de pelo curto e heterozigoto e uma fêmea de pelo longo?

Resolução:
Problemas de monoibridismo consideram apenas uma característica. Neste primeiro exercício, é fornecido o genótipo dos pais em relação à determinada característica e pede-se o da geração seguinte. O genótipo do macho de pelo curto e heterozigoto é **LI** e o da fêmea de pelo longo é **II**. Verificamos os tipos de gametas possíveis e associamos espermatozoides e óvulos:

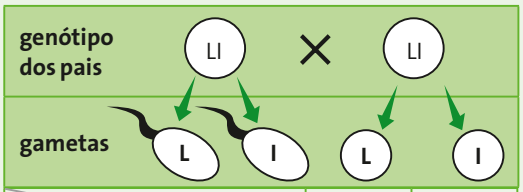


Assim, 50% dos filhos terão pelo curto (**LI**) e 50% terão pelo longo (**II**). Outra forma de determinar as fecundações possíveis consiste em usar o **quadrado** (ou **quadro**) **de Punnett**, inventado pelo geneticista inglês Reginald C. Punnett (1875-1967), que facilita a visualização das fecundações. Nesse esquema, os gametas de um dos sexos ficam organizados em colunas e os do outro sexo, em linhas. Cada quadrado indica o resultado de uma fecundação possível.

gametas produzidos pelo macho ♂ / gameta produzido pela fêmea ♀	L	I
I	LI	II

2. Qual o resultado do cruzamento entre duas cobaias heterozigotas para o tipo de pelo (curto domina longo)?

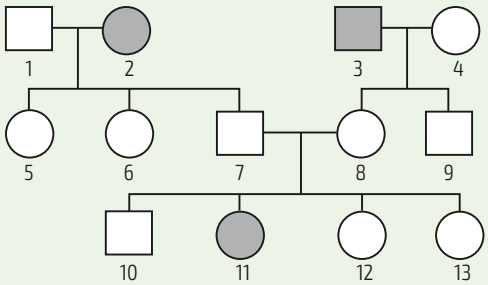
Resolução:
O problema pode ser resolvido com o quadrado de Punnett mostrado a seguir:



♂ / ♀	L	I
L	LL	LI
I	LI	II

Portanto, serão 75% com pelo curto (50% **LI** e 25% **LL**) e 25% com pelo longo (**II**).

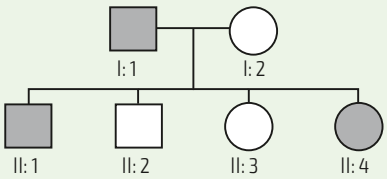
3. No heredograma a seguir aparecem indivíduos afetados (símbolos escuros) por alguma característica determinada por um par de alelos.



Com base nesse heredograma, responda: o caráter afetado é dominante ou recessivo? Qual o genótipo dos indivíduos? É possível determinar todos os genótipos?

Resolução:
Analisando o heredograma, podemos concluir que o caráter afetado é recessivo, pois a união de dois indivíduos não afetados (7 e 8) deu origem a uma filha afetada (11, **aa**). Logo, os indivíduos 7 e 8 são portadores de um alelo **a**. Como não são afetados, seu genótipo é **Aa**. Os indivíduos 2 e 3 também são afetados (**aa**) e todos os filhos deles apresentarão pelo menos um alelo **a**. Como os filhos 5, 6, 7, 8 e 9 não são afetados, concluímos que eles apresentam genótipo **Aa**. Em relação aos indivíduos 1, 4, 10, 12 e 13, não podemos determinar se são **AA** ou **Aa**.

4. A presença de sardas é determinada por um alelo dominante (**A**) e sua ausência, por um alelo recessivo (**a**). (O fato de um alelo ser dominante não significa que ele é encontrado em maior frequência na população. Significa apenas que seu fenótipo se manifesta tanto no homozigoto como no heterozigoto.) No heredograma abaixo, os indivíduos assinalados em cinza possuem sardas (característica dominante). Quais são os indivíduos heterozigotos?



Resolução:
Como a ausência de sardas é recessiva, podemos dizer que os indivíduos I: 2, II: 2 e II: 3 são homozigotos recessivos (**aa**). Se o indivíduo I: 1 fosse homozigoto dominante (**AA**), ele não poderia ter filhos sem sardas, já que seus filhos seriam **AA** ou **Aa**. Logo ele é heterozigoto (**Aa**). Como os indivíduos II: 1 e II: 4 possuem sardas, eles herdaram o alelo dominante (**A**) do pai. Mas, como sua mãe não possui sardas, eles herdaram um alelo recessivo dela; logo, também são heterozigotos (**Aa**). Então, podemos dizer que apenas os indivíduos I: 1, II: 1 e II: 4 são heterozigotos.

5 Gene e ambiente

No desenvolvimento de um indivíduo, o genótipo não é o único fator em jogo. O ambiente também influencia na formação das características (fenótipo).

Às vezes, o efeito do ambiente é muito pequeno ou mesmo nulo, como é o caso do grupo sanguíneo de uma pessoa, determinado exclusivamente pelos genes. Na maioria das vezes, porém, o ambiente pode influir bastante no fenótipo. O termo ambiente abrange aqui desde o ambiente celular e do organismo, como os nutrientes, até fatores físicos do ambiente externo, como a luz do sol, e também fatores sociais e culturais, como a aprendizagem.

Chamamos de **norma de reação** a distribuição dos fenótipos possíveis, produzidos pelo mesmo genótipo, em resposta a condições ambientais diferentes. Por exemplo, quando uma pessoa de pele branca se expõe muito ao sol, sua pele escurece, mas não ultrapassará os limites de pigmento previstos em seu padrão genético.

Um caso interessante de influência de um fator ambiental sobre o fenótipo é o de certos mamíferos, como o gato siamês. Esses gatos têm a pelagem clara, com as extremidades (orelhas, focinho, pés e rabo) pretas. A presença do pigmento escuro é resultado da atividade de uma enzima. Acima de 34 °C, a enzima fica inativa e, como o corpo tem temperatura acima disso, o pelo torna-se claro. Nas extremidades a temperatura é inferior a 34 °C e a enzima torna-se ativa, formando o pigmento preto. Esfriando artificialmente partes claras do corpo desses animais, elas ficam escuras.

Epigenética

A epigenética (do grego *epi* = sobre) é um campo relativamente novo que estuda certas mudanças na expressão dos genes que não alteram a sequência de bases do DNA. Essas mudanças podem "ligar" (ativar) ou "desligar" (inativar) certos genes de forma permanente ou por toda a vida do organismo.

As mudanças epigenéticas podem ser influenciadas por fatores do ambiente: alimentos, poluentes, doenças e até interações sociais (que provocam estresse, por exemplo). E em alguns casos, podem ser transmitidas aos descendentes, pelo menos por algumas gerações. Trata-se, portanto, de uma forma não genética de hereditariedade capaz de influenciar várias características, inclusive a saúde do organismo.

Há várias formas de alterações epigenéticas. Uma delas é a metilação da citosina, que é a adição de um grupo metil (um átomo de carbono ligado a três átomos de hidrogênio) à base nitrogenada citosina. A metilação tem o efeito de reprimir a expressão de certos trechos do DNA, tornando inativos determinados genes.

Os efeitos das alterações epigenéticas podem explicar, entre outras mudanças, a diferença entre os diversos tipos de células do corpo (diferentes tipos de genes são expressos em cada célula). Podem explicar ainda o surgimento de alguns tipos de câncer e as diferenças entre gêmeos monozigóticos: estes gêmeos possuem o mesmo DNA, porém detêm marcas epigenéticas diferentes que vão aparecendo ao longo da vida.

Aconselhamento genético

A avaliação dos riscos de um casal dar origem a um bebê com um problema genético é realizada por um médico geneticista, que também pode informar sobre a evolução, o tratamento e as opções para lidar com o problema. Esse profissional pode analisar o histórico familiar relacionado à doença e solicitar diversos exames, até mesmo exames de cromossomos e testes genéticos.

Um exemplo de caso que merece atenção no aconselhamento genético é o dos casamentos consanguíneos (casamento entre pessoas da mesma família). Suponha que um alelo recessivo **a**, raro na população, determine alguma doença. Poucas pessoas serão portadoras desse alelo, isto é, poucas pessoas terão genótipo **Aa**. Se esse indivíduo se unir a uma pessoa de outra família, esta pessoa, muito provavelmente, será **AA**, pois o alelo **a**, sendo raro, é encontrado em poucas famílias. Dessa união (**Aa** com **AA**) nascerão filhos sem o problema (**AA** ou **Aa**). Mas, se o indivíduo **Aa** se unir a um parente, a probabilidade de esse parente também ser **Aa** é maior do que no caso anterior, pois o alelo **a** está presente nessa família. A união de **Aa** com **Aa** terá probabilidade de 1/4 (25%) de filhos **aa**, portadores da doença.

Muitas vezes os genes apenas aumentam o risco da doença e a pessoa só precisa tomar certas precauções. Por exemplo, mulheres com propensão ao câncer de mama devem realizar exames periódicos com mais frequência.

A identificação de vários genes permitiu desenvolver testes genéticos para a detecção precoce de algumas doenças. Para as doenças tratáveis, esses testes são, sem dúvida, muito importantes. Outras vezes, porém, o teste acusa uma doença genética fatal, que ainda não tem cura e que só se manifesta após certa idade, como é o caso da doença de Huntington. Nessas situações, a decisão de realizar o teste pode ser muito difícil. Há ainda o problema de garantir a privacidade da pessoa e impedir que empresas discriminem candidatos a vagas por terem propensão a determinadas doenças. Os testes genéticos envolvem, portanto, aspectos sociais, jurídicos e éticos e devem ser discutidos por toda a sociedade.

Caracteres hereditários e congênitos

A cor dos olhos, o tipo de nariz e algumas outras características do indivíduo resultam, principalmente, da influência dos genes e são transmitidas dos pais para os filhos. Por isso são chamadas **hereditárias**.

Algumas doenças, como o câncer, surgem por causa de alterações genéticas; são doenças genéticas. Em alguns casos, essas alterações podem ser herdadas, o que faz com que a pessoa tenha uma predisposição à doença. Em outros, elas aparecem ao longo da vida por causa de fatores mutagênicos que atingem células somáticas (radiações, certos produtos químicos, etc.). Nem toda doença genética, portanto, é hereditária.

Um caráter é **congênito** quando está presente por ocasião do nascimento – independentemente de sua causa ser genética ou ambiental. Por exemplo, se uma mulher adquirir rubéola durante a gravidez, o vírus pode atingir o embrião e provocar surdez na criança. Mas a surdez pode ser causada também por alterações em um gene que é transmitido dos pais para os filhos. Nesse caso, trata-se de uma surdez hereditária.

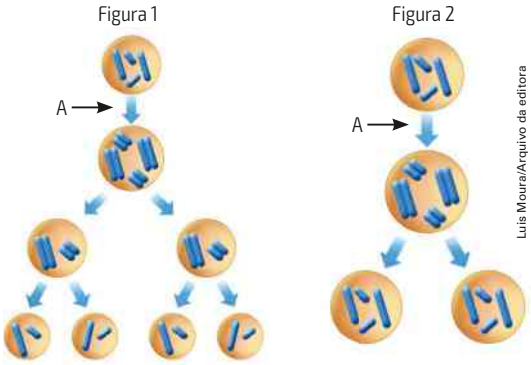
Podemos dizer, então, que a surdez provocada pelo ambiente (infecção) está copiando um tipo de caráter que, em outros indivíduos, é consequência de um gene. Assim, a surdez causada pela rubéola é classificada pelos geneticistas como uma **fenocópia** (fenótipo copiado).

Atividades

1. A figura ao lado, baseada em uma ilustração feita em 1694, representa um espermatozoide. Ela mostra uma ideia popular na época sobre a função do espermatozoide para a formação de um novo ser vivo. Qual seria essa ideia? Por que, segundo nossos conhecimentos atuais, ela está errada?

Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

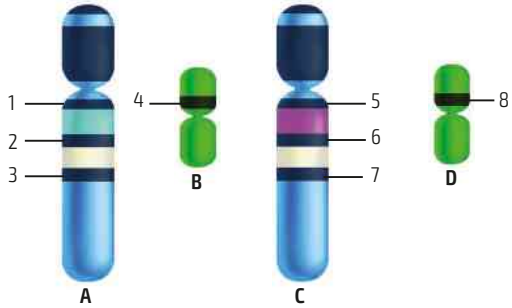
2. O esquema abaixo mostra dois tipos de divisão celular. Os bastões representam cromossomos.



Luis Moura/Arquivo da editora

a) Identifique qual a figura da mitose e qual a da meiose. Justifique sua resposta.
b) Quantos pares de cromossomos homólogos as células possuem inicialmente?
c) O que acontece com os cromossomos na etapa indicada pela letra **A**?
d) Suponha que a célula inicial possua dois alelos, **A** e **a**, em um dos pares de cromossomos homólogos. Como são as células produzidas ao final da divisão da figura **1** em relação a esses alelos? E as da figura **2**?

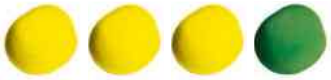
3. Na figura abaixo estão esquematizados (cores fantasia) quatro cromossomos de uma célula (indicados pelas letras) e vários alelos (indicados por números).



Luis Moura/Arquivo da editora

No caderno, identifique quais os pares de homólogos e os pares de alelos.

4. O esquema a seguir ilustra o resultado de um cruzamento entre ervilhas amarelas e verdes feito por Mendel. A geração **P** era de ervilhas puras. A geração $\mathbf{F_2}$ foi obtida por autofecundação da geração $\mathbf{F_1}$.

Geração	Cruzamento entre ervilhas amarelas e verdes
P	
F_1	100% amarelas
F_2	

Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

No caderno, com base no esquema, responda às questões:
a) Qual a característica dominante: a amarela ou a verde? Justifique sua resposta.
b) Quais os genótipos das ervilhas?

5. Em relação ao albinismo, podemos dizer que as pessoas podem ter os seguintes genótipos: **AA**, **Aa** e **aa**.
a) Que tipos de gameta cada um desses genótipos pode produzir?
b) Determine as proporções genotípicas e fenotípicas resultantes dos seguintes cruzamentos (**a** é o alelo para albinismo, uma característica recessiva):
I. AA × AA.
II. aa × aa.
III. AA × aa.
IV. Aa × aa.
V. Aa × Aa.
c) Como serão os filhos de uma pessoa de pele pigmentada, filha de pai com albinismo, com uma pessoa com albinismo?

6. Estudando a formação de gametas, um estudante concluiu que o emparelhamento de cromossomos homólogos na prófase I e a organização dos cromossomos na região equatorial da célula na primeira divisão da meiose são eventos essenciais para explicar as leis de Mendel. Justifique a afirmação do estudante.

7. Um estudante afirmou que os gametas de um indivíduo eram heterozigotos. Por que essa afirmação está errada?

8. Para descobrir se uma planta que produz ervilhas amarelas (característica dominante) é homozigota ou heterozigota quanto ao par de alelos que condicionam esse caráter, devemos fazer seu cruzamento com outra que produza ervilhas amarelas ou com uma planta que produza ervilhas verdes? Justifique sua escolha.

9. Em ervilhas, o caráter semente lisa é condicionado por um alelo dominante **R**, enquanto o caráter semente rugosa é condicionado pelo alelo recessivo **r**. Quais são as proporções genotípica e fenotípica obtidas na autofecundação de uma ervilha heterozigota? Faça no caderno um esquema indicando como o resultado foi obtido.

10. A primeira lei de Mendel pode ser enunciada assim: "Cada caráter é condicionado por um par de fatores que se separam na formação dos gametas, nos quais ocorrem em dose simples". Quando Mendel chegou a essa conclusão, porém, ele não sabia exatamente o que seriam esses fatores nem como ocorreria sua separação. Explique o que, atualmente, corresponde a esses fatores e qual é o processo responsável pela separação deles.

11. (Fuvest-SP) A fenilcetonúria é uma doença que tem herança autossômica recessiva. Considere a prole de um casal de heterozigóticos quanto à mutação que causa a doença.

a) Qual é a probabilidade de o genótipo da primeira criança ser igual ao de seus genitores?
b) Qual é a probabilidade de as duas primeiras crianças apresentarem fenilcetonúria?
c) Se as duas primeiras crianças forem meninos que têm a doença, qual é a probabilidade de uma terceira criança ser uma menina saudável?
d) Se a primeira criança for clinicamente normal, qual é a probabilidade de ela não possuir a mutação que causa a fenilcetonúria?

12. (Uerj) Considere o cruzamento de um bode sem chifres com três cabras. Em cada cruzamento, foi gerado apenas um filhote. Observe os dados na tabela:

Cabra	Presença de chifres	
	na cabra	no filhote
1	sim	não
2	sim	sim
3	não	sim

Admita que a ausência de chifres em caprinos seja uma característica monogênica dominante. Utilizando as letras **A** e **a** para representar os genes envolvidos, determine os genótipos do bode e das três cabras.

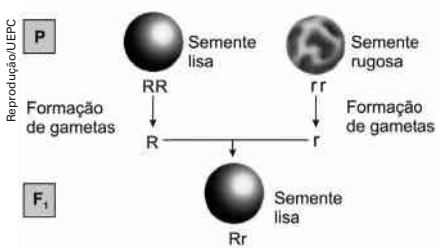
13. (UFG-GO) Após seu retorno à Inglaterra, Darwin casou-se com sua prima Emma, com quem teve dez filhos, dos quais três morreram. Suponha que uma dessas mortes tenha sido causada por uma doença autossômica recessiva. Nesse caso, qual seria o genótipo do casal para esta doença?

X a) Aa e Aa.
b) AA e aa.
c) AA e Aa.
d) AA e AA.
e) aa e aa.

14. (UFU-MG) Em galinhas da raça andaluza, a cor da plumagem é determinada pelos genes $\mathbf{P^P}$ (pelagem preta) e $\mathbf{P^B}$ (pelagem branca). Cruzando aves pretas ($\mathbf{P^PP^P}$) com aves brancas ($\mathbf{P^BP^B}$), obtêm-se em $\mathbf{F_1}$ 100% de descendentes de plumagem azul-acinzentada ($\mathbf{P^PP^B}$). Aves da geração $\mathbf{F_1}$, quando cruzadas entre si, produzirão descendentes nas seguintes proporções:

a) 9 pretas : 3 azuladas : 3 acinzentadas : 1 branca.
b) 3 brancas : 1 preta.
X c) 1 preta : 2 azul-acinzentadas : 1 branca.
d) 3 pretas : 1 branca.

15. (UEPG-PR) A figura abaixo esquematiza um cruzamento parental entre ervilhas puras de formato liso e ervilhas puras de formato rugoso. Observe que a geração 1 ($\mathbf{F_1}$) gerou 100% de descendentes que possuem o formato da ervilha liso. Desenvolva a geração 2 ($\mathbf{F_2}$) e a partir dos resultados, assinale o que for correto. 01 + 08 = 09.



(01) A geração $\mathbf{F_2}$ gerará 75% de ervilhas de formato liso e 25% de ervilhas de formato rugoso. Esse resultado somente é possível, pois se trata de uma herança monogênica com dominância completa do alelo liso sobre o alelo rugoso.
(02) A geração $\mathbf{F_2}$ terá uma proporção de 9 : 3 : 3 : 1 sendo 9/16 lisas e rugosas; 3/16 lisas; 3/16 rugosas; 1/16 rugosas e lisas, respectivamente.
(04) A proporção fenotípica encontrada na geração $\mathbf{F_2}$ será de 50% de ervilhas de formato liso e 50% de ervilhas de formato rugoso.
(08) A geração $\mathbf{F_2}$ gerará uma proporção genotípica de 25% homozigotos dominantes, 50% heterozigotos e 25% de homozigotos recessivos.

16. (UFRN) O primeiro relato da ocorrência da Síndrome de Spoan foi feito em Serrinha dos Pintos, município no interior do Rio Grande do Norte.

Estima-se que 10% da população desse município possuam o gene causador da síndrome, que se manifesta por atrofia do sistema nervoso e paralisia. A síndrome é determinada por um alelo autossômico recessivo e a chance de ela ocorrer é favorecida através de descendentes de casais consanguíneos.

Disponível em: <www.wikipedia.com.br>. Acesso em: 12 jul. 2011.

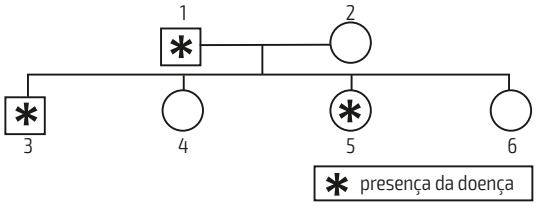
Suponhamos que um casal de primos, natural de Serrinha dos Pintos, aguarde o nascimento do seu primeiro filho. Embora não apresentem a Síndrome de Spoan, o casal gostaria de saber a probabilidade de esse filho vir a apresentá-la, ou de ser saudável, mas portador do gene para esse tipo de síndrome.

Os princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias indicam que o filho desse casal tem:

a) 75% de probabilidade de apresentar a síndrome, se ambos os pais forem heterozigotos.
b) 25% de probabilidade de apresentar a síndrome, se apenas um dos pais possuir um alelo recessivo.
X c) 50% de chance de ser saudável, mas ser portador do gene, se apenas um dos pais possuir um alelo recessivo.
d) 100% de chance de ser saudável, mas portador do gene, se ambos os pais forem heterozigotos.

17. (Uerj) A doença de Von Willebrand, que atinge cerca de 3% da população mundial, tem causa hereditária, de natureza autossômica dominante. Essa doença se caracteriza pela diminuição ou disfunção da proteína conhecida como fator Von Willebrand, o que provoca quadros de hemorragia.

O esquema abaixo mostra o heredograma de uma família que registra alguns casos dessa doença.



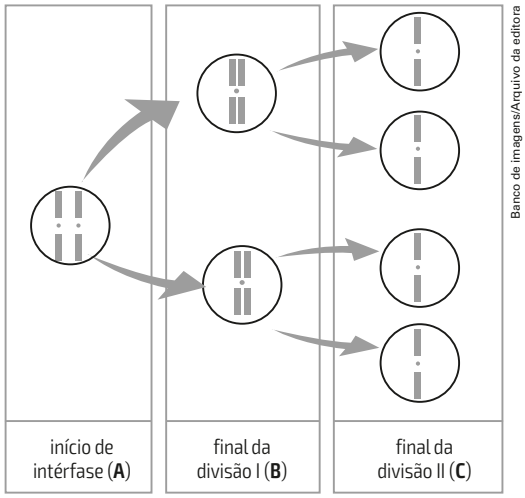
Admita que os indivíduos **3** e **4** casem com pessoas que não apresentam a doença de Von Willebrand. As probabilidades percentuais de que seus filhos apresentem a doença são, respectivamente, de:

X a) 50 e 0.
b) 25 e 25.
c) 70 e 30.
d) 100 e 50.

18. (UPF-RS) A fibrose cística é uma doença autossômica recessiva grave. É caracterizada por um distúrbio nas secreções das glândulas exócrinas que pode afetar todo o organismo, frequentemente levando à morte prematura. As pessoas nas quais o alelo recessivo é detectado recebem aconselhamento genético a respeito do risco de vir a ter um descendente com a doença. Paulo descobriu que é heterozigoto para essa característica. Ele é casado com Júlia, que não apresenta a doença e é filha de pais que também não apresentam a doença. No entanto, Júlia teve um irmão que morreu na infância, vítima de fibrose cística. Qual a probabilidade de que Paulo e Júlia venham a ter um(a) filho(a) com fibrose cística?

X a) 1/6
b) 1/8
c) 1/4
d) 1/2
e) 1/3

19. (Fuvest-SP) A figura mostra etapas da segregação de um par de cromossomos homólogos em uma meiose em que não ocorreu permuta.



No início da intérfase, antes da duplicação cromossômica que precede a meiose, um dos representantes de um par de alelos mutou por perda de uma sequência de pares de nucleotídeos. Considerando as células que se formam no final da primeira divisão (**B**) e no final da segunda divisão (**C**), encontraremos o alelo mutante em:

a) uma célula em **B** e nas quatro em **C**.
X b) uma célula em **B** e em duas em **C**.
c) uma célula em **B** e em uma em **C**.
d) duas células em **B** e em duas em **C**.
e) duas células em **B** e nas quatro em **C**.

20. (UEM-PR) João e Roberta se casaram. Ambos têm pele pigmentada e casos de albinismo na família. Como planejam ter filhos, resolveram procurar um geneticista para tirarem suas dúvidas. João informou que sua mãe era homozigota dominante e seu pai tinha pele pigmentada, porém seu avô paterno era albino. Roberta informou que seus pais tinham pigmentação, porém tem uma irmã albina.

Considerando essas informações e que o albinismo tipo 1, na espécie humana, é condicionado por um alelo recessivo, assinale o que for correto.

(01) João e Roberta apresentam a mesma probabilidade de serem portadores do alelo para o albinismo. 02 + 08 + 16 = 26.

(02) A probabilidade de João ser portador do alelo para o albinismo é de 50%.

(04) A probabilidade de o avô e de a avó paternos de Roberta serem homozigotos dominantes é de 25%.

(08) Se o casal tiver um filho albino, a probabilidade de o segundo filho ser albino será de 1/4.

(16) Se o casal tiver um filho albino, a probabilidade de o segundo filho ser homozigoto é a mesma de ele ser heterozigoto.

21. (Fuvest-SP) Para que a célula possa transportar, para seu interior, o colesterol da circulação sanguínea, é necessária a presença de uma determinada proteína em sua membrana. Existem mutações no gene responsável pela síntese dessa proteína que impedem a sua produção. Quando um homem ou uma mulher possui uma dessas mutações, mesmo tendo também um alelo normal, apresenta hipercolesterolemia, ou seja, aumento do nível de colesterol no sangue.

A hipercolesterolemia devida a essa mutação tem, portanto, herança

X a) autossômica dominante.
b) autossômica recessiva.
c) ligada ao X dominante.
d) ligada ao X recessiva.
e) autossômica codominante.

22. (UEMA)

Chegamos ao mundo com instruções básicas de funcionamento guardadas nos genes. Quando o pai é obeso, o risco do filho também ser obeso é de 40% e, se pai e mãe forem obesos, este índice sobe para 80%. Entretanto, as condições de vida dentro do útero da mãe podem alterar a ordem ditada pelos genes. Além disso, o ambiente, também, pode fazer com que algumas dessas instruções sejam ignoradas ou excessivamente valorizadas.

Revista *Época*. Rio de Janeiro: Globo, n. 780, 6 maio, 2013. (Adaptado)

De acordo com Mendel, a contribuição genética materna, em percentual, pode desencadear a obesidade em

a) 0%
b) 25%
X c) 50%
d) 75%
e) 100%

23. (Enem) Mendel cruzou plantas puras de ervilha com flores vermelhas e plantas puras com flores brancas, e observou que todos os descendentes tinham flores vermelhas. Nesse caso, Mendel chamou a cor vermelha de dominante e a cor branca de recessiva. A explicação oferecida por ele para esses resultados era a de que as plantas de flores vermelhas da geração inicial (**P**) possuíam dois fatores dominantes iguais para essa característica (**VV**), e as plantas de flores brancas possuíam dois fatores recessivos iguais (**vv**). Todos os descendentes desse cruzamento, a primeira geração de filhos (**F_1**), tinham um fator de cada progenitor e eram **Vv**, combinação que assegura a cor vermelha nas flores.

Tomando-se um grupo de plantas cujas flores são vermelhas, como distinguir aquelas que são **VV** das que são **Vv**?

a) Cruzando-as entre si, é possível identificar as plantas que têm o fator **v** na sua composição pela análise de características exteriores dos gametas masculinos, os grãos de pólen.
X b) Cruzando-as com plantas recessivas, de flores brancas. As plantas **VV** produzirão apenas descendentes de flores vermelhas, enquanto as plantas **Vv** podem produzir descendentes de flores brancas.
c) Cruzando-as com plantas de flores vermelhas da geração **P**. Os cruzamentos com plantas **Vv** produzirão descendentes de flores brancas.
d) Cruzando-as entre si, é possível que surjam plantas de flores brancas. As plantas **Vv** cruzadas com outras **Vv** produzirão apenas descendentes vermelhas, portanto as demais serão **VV**.
e) Cruzando-as com plantas recessivas e analisando as características do ambiente onde se dão os cruzamentos, é possível identificar aquelas que possuem apenas fatores **V**.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar (em livros, CD-ROMs, na internet, etc.). Depois, exponham os resultados para a classe.

1. O que significam, em Genética, os termos penetrância (ou penetrância gênica) e expressividade (ou expressividade gênica)? Dê exemplos. Se possível, agendem a visita de um geneticista que trabalhe com aconselhamento genético para conversar com a turma sobre seu trabalho.
2. Com auxílio do professor de Matemática, pesquisem uma fórmula para calcular a probabilidade de, no lançamento de cinco moedas, saírem três faces cara e duas faces coroa. Em seguida, apliquem a fórmula para calcular a probabilidade de pais heterozigotos para albinismo terem dois filhos não albinos e um filho albino.

Fique de olho!
Sempre que um profissional for chamado para uma entrevista, busquem saber como é o cotidiano de sua profissão, perguntando sobre aspectos positivos e negativos do trabalho.

Atividades práticas

Simulando cruzamentos em Genética

Organizem-se em grupos de quatro ou cinco colegas. Cada grupo deve conseguir o seguinte material:

- dois sacos de papel opaco;
- 12 peças de jogo de damas brancas e 12 peças pretas, todas do mesmo tamanho (podem ser usados feijões pretos e feijões mais claros, como o carioquinha, desde que sejam aproximadamente do mesmo tamanho).

Em um dos sacos de papel deve ser escrito "gametas masculinos"; no outro, "gametas femininos". Cada saco deverá conter 6 peças pretas e 6 peças brancas.

Sem olhar o conteúdo do primeiro saco, um dos alunos do grupo retira uma peça de seu interior; e outro aluno retira uma peça do outro saco, também sem olhar. Um terceiro aluno do grupo anota a combinação formada pelas duas peças (a ordem em que foram tiradas não importa). As duas peças devem ser devolvidas aos respectivos sacos e misturadas com as outras. O processo deve ser repetido 32 vezes.

1. Suponham que cada peça corresponda a um alelo de determinado gene e cada sorteio represente o encontro de dois gametas. Usando letras maiúsculas e minúsculas para representar os alelos, demonstrem os genótipos dos pais que participam desse cruzamento.
2. Usando as mesmas letras, informem qual a proporção genotípica esperada para a descendência desse cruzamento. Qual a proporção obtida pelo grupo na prática?
3. Suponham que haja dominância completa entre os alelos e respondam: qual a proporção fenotípica esperada (isto é, quantos são os indivíduos com a característica dominante e quantos têm a característica recessiva)? Qual a proporção fenotípica obtida?
4. Comparem as proporções obtidas em seu grupo com as de outros grupos: os resultados foram os mesmos?
   Expliquem por que as proporções genotípicas e fenotípicas obtidas não precisam ser iguais às proporções esperadas.
5. Redistribuam as peças de modo que um dos sacos fique com 3 peças brancas e 3 peças pretas e o outro saco fique com 6 peças brancas e repitam o processo de sorteio descrito anteriormente. Novamente, usando letras maiúsculas e minúsculas para os alelos e supondo que as peças brancas representam o alelo recessivo, respondam às questões de 1 a 4 adaptando-as a essa nova situação.

CAPÍTULO 2

Segunda lei de Mendel

Jacqy Law/Shutterstock

Variedades de milho (espigas com cerca de 12 cm de comprimento).

O milho cultivado hoje é muito diferente daquele que crescia originalmente na natureza. Isso ocorre porque ao longo da história, o ser humano selecionou e cruzou as variedades mais produtivas, ou que apresentavam características melhores para o consumo. Os cruzamentos seletivos realizados hoje em dia são feitos de forma planejada, usando os princípios da segunda lei de Mendel e o conhecimento de genética construído pela comunidade científica ao longo do tempo.

- *Você conhece algumas aplicações da genética em nosso dia a dia?*
- *Você já sabe como prever o resultado de cruzamentos em ervilhas quando analisamos uma característica de cada vez. Como é possível prever resultados de cruzamentos analisando duas ou mais características ao mesmo tempo?*

1 Experiência de Mendel

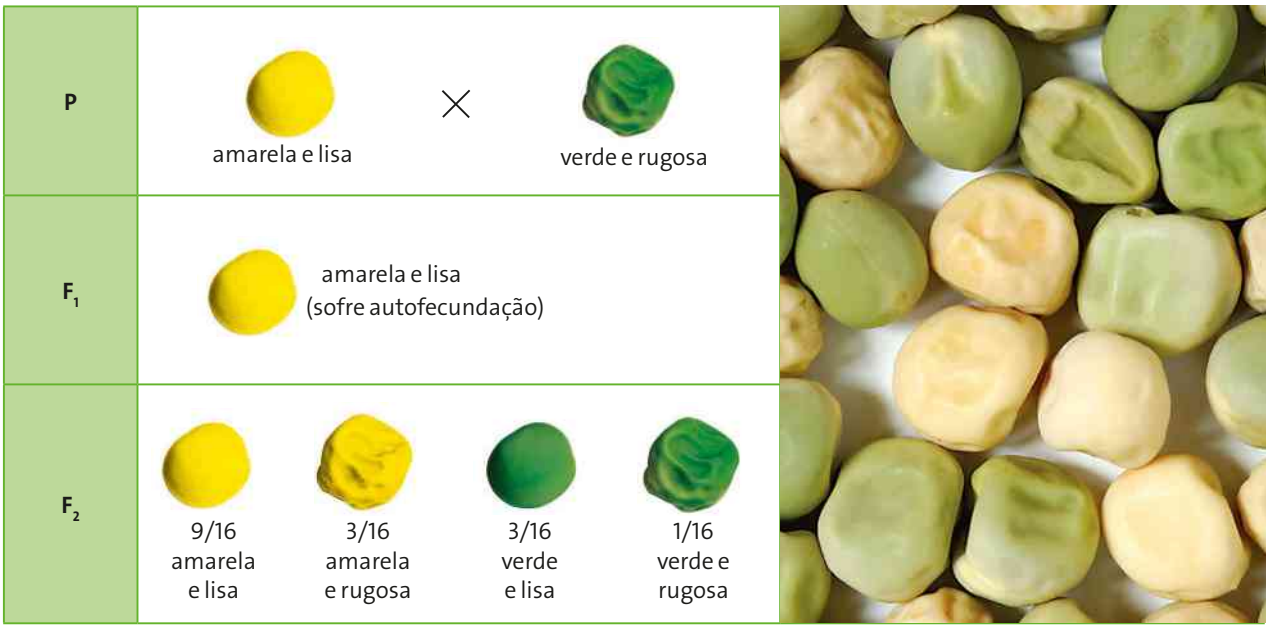
Após estudar uma característica de cada vez (monoibridismo), Mendel passou a se preocupar com o comportamento de duas características, uma em relação à outra, no mesmo cruzamento. Por exemplo, como seriam os descendentes de um indivíduo de semente amarela e lisa com outro de semente verde e rugosa? O que ocorreria se realizasse a autofecundação de um híbrido para essas duas características?

Ao analisar cruzamentos que envolviam dois tipos de características (**di-hibridismo**), Mendel formulou mais uma lei da Genética.

Mendel cruzou ervilhas puras para semente amarela e para superfície lisa (caracteres dominantes) com ervilhas de semente verde e superfície rugosa (caracteres recessivos). Constatou que $\mathbf{F_1}$ era totalmente constituída por indivíduos com sementes amarelas e lisas, o que era esperado, uma vez que esses caracteres são dominantes e os pais eram puros. Ao provocar a autofecundação de um indivíduo $\mathbf{F_1}$, observou que a geração $\mathbf{F_2}$ era composta de quatro tipos de sementes: amarela e lisa, 9/16; amarela e rugosa, 3/16; verde e lisa, 3/16; verde e rugosa, 1/16 (figura 2.1).

Os fenótipos "amarela e lisa" e "verde e rugosa" já eram conhecidos, mas os tipos "amarela e rugosa" e "verde e lisa" não estavam presentes na geração parental nem na $\mathbf{F_1}$. O aparecimento desses fenótipos de recombinação de caracteres paternos e maternos permitiu a Mendel concluir que a herança da cor era independente da herança da superfície da semente. O par de fatores para cor se distribuía entre os filhos sem interferir na distribuição do par de fatores para superfície.

Essa é a segunda lei de Mendel, também chamada **lei da recombinação** ou **lei da segregação independente**, e pode ser enunciada da seguinte maneira: "Em um cruzamento em que estejam envolvidos dois ou mais caracteres, os fatores que condicionam cada um se separam (se segregam) de forma independente durante a formação dos gametas, se recombinam ao acaso e formam todas as combinações possíveis".



Fotos: Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

Figura 2.1 Quadro demonstrativo da segunda lei de Mendel. Na foto, os quatro tipos de sementes: amarela e lisa, amarela e rugosa, verde e lisa, verde e rugosa (geralmente as ervilhas têm cerca de 7 mm a 10 mm de diâmetro).

Interpretação da segunda lei de Mendel

Em termos atuais, dizemos que o par de alelos para a cor da semente (**V** e **v**, com **V** condicionando semente amarela e **vv**, semente verde) segrega-se independentemente do par de alelos para a forma da semente (**R** condicionando semente lisa e **rr**, rugosa), uma vez que estão em pares de cromossomos diferentes.

O genótipo de um indivíduo puro com sementes amarelas e lisas é VVRR e o de indivíduos com sementes verdes e rugosas é vvrr. Por meiose, o indivíduo VVRR produz células **VR**, e o indivíduo vvrr, células vr (figura 2.2). A união de gametas **VR** e **vr** produz apenas um tipo de indivíduo na geração $\mathbf{F_1}$: VvRr. Esse indivíduo é di-híbrido e produz por meiose quatro tipos de células. Observe na figura 2.3 que, durante a meiose, há duas posições possíveis para os cromossomos na metáfase I. No total são produzidos quatro tipos de gametas: **VR**, **Vr**, **vR** e **vr**. Todos podem ocorrer com a mesma frequência: 25% ou 1/4.

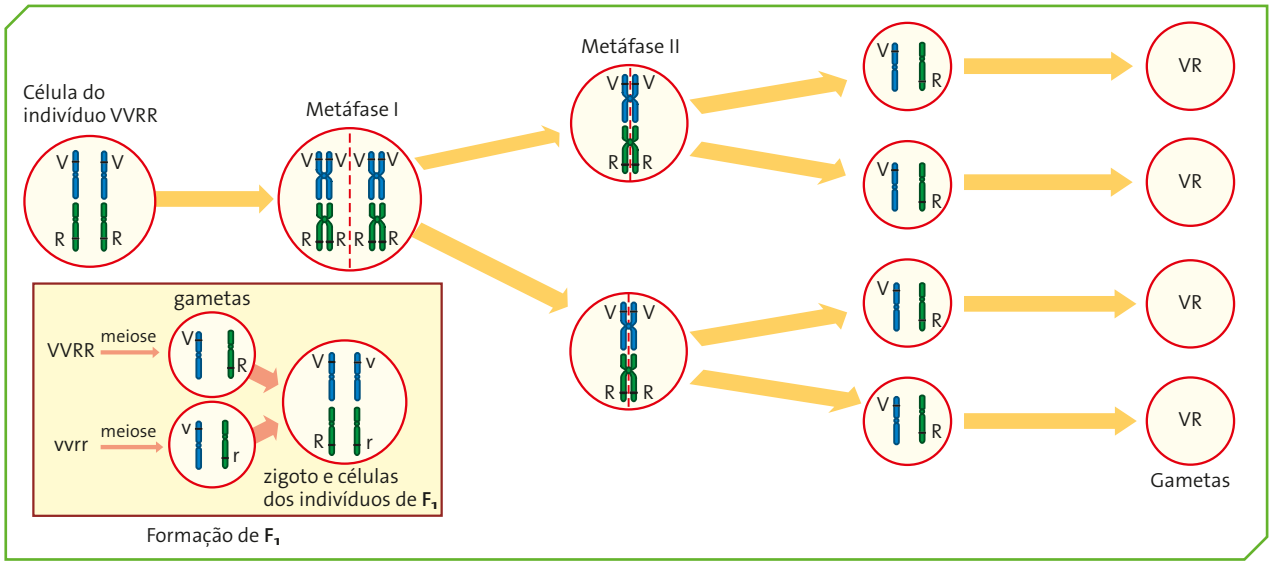


Figura 2.2 Produção de gametas dos indivíduos da geração parental. A meiose do indivíduo vvrr é idêntica à do indivíduo VVRR. Embaixo, à esquerda, formação de indivíduos da $\mathbf{F_1}$. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia.)

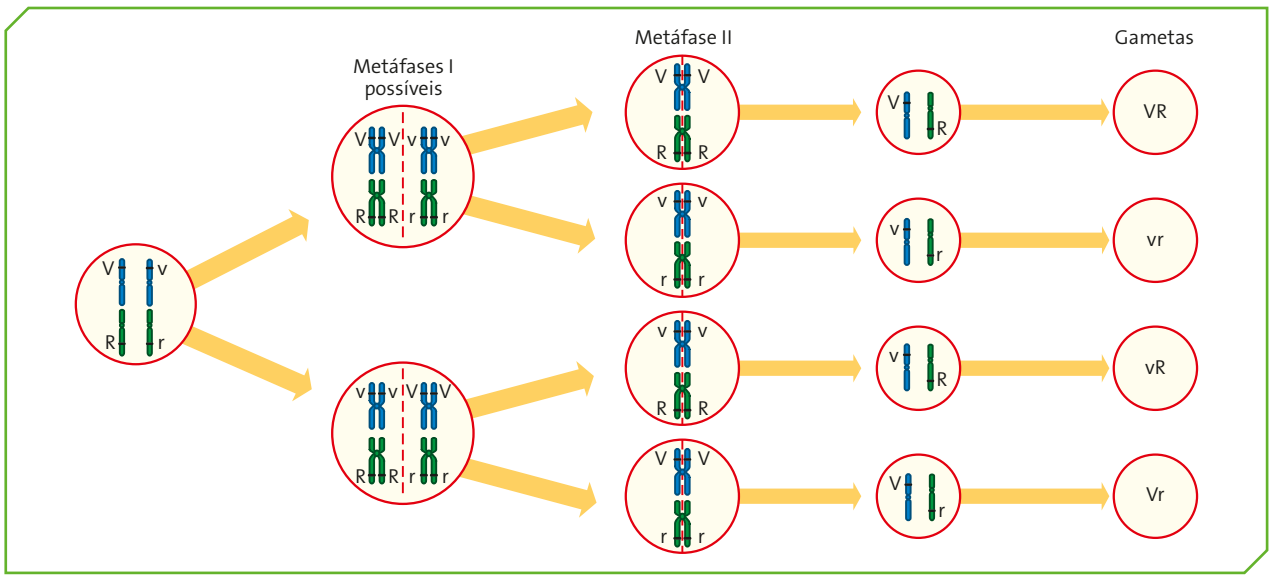


Figura 2.3 Os quatro tipos de gametas produzidos por um di-híbrido. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia.)

Os filhos resultantes da autofecundação desse di-híbrido (VvRr) serão as possíveis combinações entre esses quatro tipos de gametas (figura 2.4).

Para encontrar todos os genótipos e os fenótipos em um cruzamento:

- primeiro, encontramos os gametas que cada indivíduo produz; por exemplo, a ervilha VvRr produz quatro tipos de gametas, que podem ser achados por análise combinatória com um dos dois esquemas abaixo:

V v R r → VR, Vr, vR, vr ou

V → R → VR; V → r → Vr v → R → vR; v → r → vr

- depois, esquematizamos um quadrado de Punnett (figura 2.5); no caso do cruzamento de dois di-híbridos, tomamos o cuidado de colocar os quatro tipos de gametas na ordem indicada na figura, tanto na linha (gametas masculinos) como na coluna (gametas femininos); analisando as diagonais do quadrado, fica mais fácil achar os indivíduos que aparecem repetidos e formar a proposição de genótipos.

A proporção genotípica do cruzamento de dois di-híbridos é 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1. Nela, o número 4 indica a quantidade de di-híbridos (VvRr); o 2 indica os monoíbridos; e o 1, os duplo homozigotos.

Depois de achar os genótipos, fazemos a correspondência com os fenótipos. No caso do cruzamento entre dois di-híbridos, 9/16 indivíduos apresentam os fenótipos dominantes para ambas as características (V_R_), que correspondem, nesse caso, às ervilhas amarelas e lisas; 3/16 indivíduos apresentam fenótipo dominante para a primeira característica e recessivo para a segunda (V_rr) e correspondem às ervilhas amarelas e rugosas; 3/16 apresentam fenótipo dominante para a segunda característica e recessivo para a primeira (vvR_) e correspondem às ervilhas verdes e lisas; 1/16 apresenta fenótipo recessivo para ambas as características (vvrr) e corresponde às ervilhas verdes e rugosas.

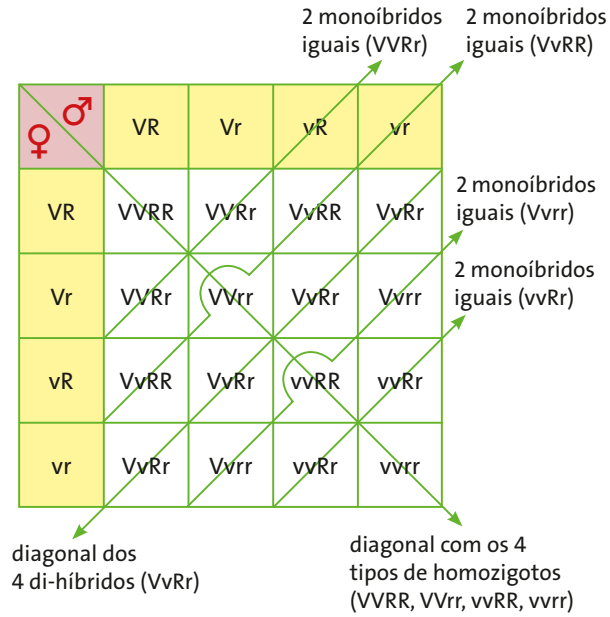
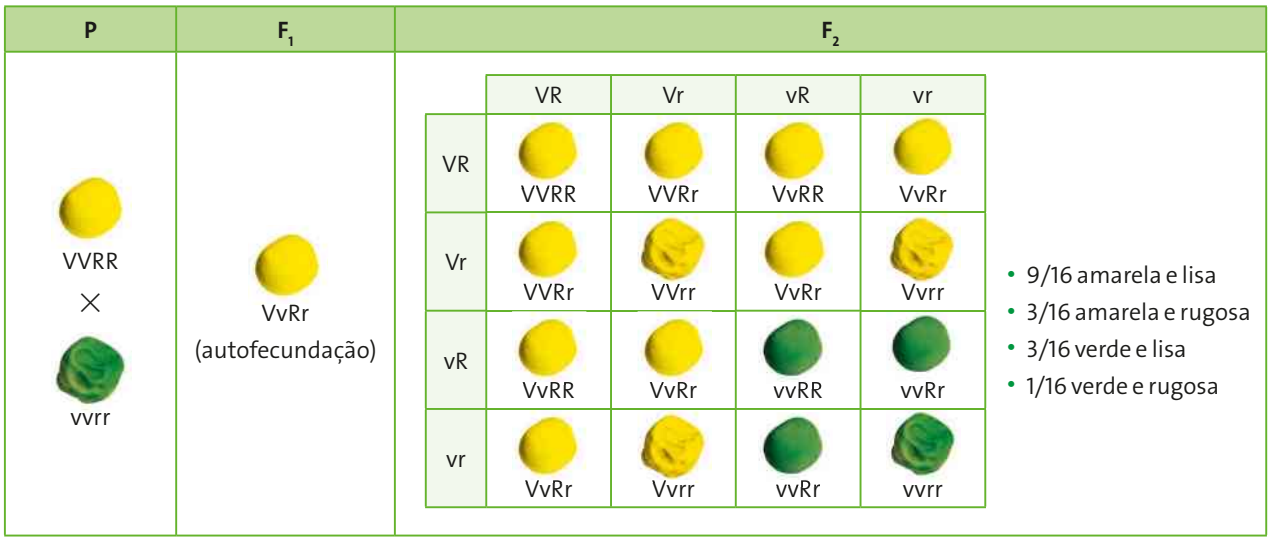


Figura 2.5 Quadrado de Punnett que facilita achar todos os indivíduos formados em F_2.



Martin Shields/Photo Researchers/Latinstock

Figura 2.4 Gerações F_1 e F_2 do cruzamento de semente amarela e lisa pura com semente verde e rugosa (as ervilhas têm cerca de 7 mm a 10 mm de diâmetro).

Outra maneira de achar genótipos e fenótipos no di-hibridismo

O di-hibridismo é a ocorrência simultânea de dois monoibridismos. Assim, podemos calcular separadamente a F_2 de cada um e multiplicar os resultados. É o chamado método da probabilidade, um método alternativo ao do quadrado de Punnett.

Em primeiro lugar, fazemos o cruzamento para a cor da semente: F_2 é o resultado do cruzamento de dois híbridos de F_1. O mesmo raciocínio vale para o cruzamento da forma da semente.

Cor da semente		
F_1	F_2	
Vv × **Vv** amarelas	1/4 **VV**	3/4 amarela
	2/4 **Vv**	
	1/4 **vv**	1/4 verde

Forma da semente		
F_1	F_2	
Rr × **Rr** lisas	1/4 **RR**	3/4 lisa
	2/4 **Rr**	
	1/4 **rr**	1/4 rugosa

Agora, multiplicamos as probabilidades das proporções genotípicas:

×	1/4 RR	2/4 Rr	1/4 rr
1/4 VV	1/16 **VVRR**	2/16 **VVRr**	1/16 **VVrr**
2/4 Vv	2/16 **VvRR**	4/16 **VvRr**	2/16 **Vvrr**
1/4 vv	1/16 **vvRR**	2/16 **vvRr**	1/16 **vvrr**

A proporção genotípica de F_2 do di-hibridismo é 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1. O número 4 indica a proporção de di-híbridos (VvRr); o número 2 indica os monoíbridos; o número 1, os homozigotos.

Para a proporção fenotípica, fazemos o mesmo:

×	3/4 lisa	1/4 rugosa
3/4 amarela	9/16 amarela e lisa	3/16 amarela e rugosa
1/4 verde	3/16 verde e lisa	1/16 verde e rugosa

A proporção fenotípica de F_2 do di-hibridismo é 9 : 3 : 3 : 1, em que 9 é a proporção de indivíduos duplos dominantes; o 3, indivíduos com uma característica dominante e outra recessiva; e o 1, de duplos recessivos.

Vejamos uma aplicação da lei de Mendel para um animal doméstico, o porquinho-da-índia: a cor preta da pelagem deve-se a um alelo dominante **M**, e a cor marrom, ao alelo recessivo **m**. O pelo curto deve-se a um alelo dominante **L**, e o pelo longo, ao alelo **l**. No cruzamento de porquinhos-da-índia di-híbridos pretos e de pelo curto (características dominantes), observa-se na F_2 a proporção fenotípica de 9 : 3 : 3 : 1 (figura 2.6), a mesma obtida por Mendel com as ervilhas.

A segregação independente vale para muitas outras características em vários organismos, inclusive na espécie humana. Contudo, como veremos no Capítulo 5, há uma restrição importante: a segunda lei não vale para genes situados no mesmo cromossomo, mas sim para pares de alelos em cromossomos diferentes.

Genótipos

	ML	Ml	mL	ml
ML	MMLL	MMLl	MmLL	MmLl
Ml	MMLl	MMll	MmLl	Mmll
mL	MmLL	MmLl	mmLL	mmLl
ml	MmLl	Mmll	mmLl	mmll

Fenótipos

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 2.6 O resultado do cruzamento de dois porquinhos-da-índia di-híbridos. Esses animais, quando adultos, atingem cerca de 20 cm de comprimento.

História da ciência

Por que o trabalho de Mendel foi ignorado?

O trabalho de Mendel permaneceu ignorado pela comunidade científica por mais de trinta anos. É tão comum que trabalhos científicos não sejam imediatamente reconhecidos pela comunidade científica, que esse é um fato muito discutido em Filosofia e História da Ciência.

Para alguns, isso ocorreu porque as descobertas de Mendel foram ofuscadas pela polêmica acerca do livro *A origem das espécies*, de Charles Darwin. Outros acham que os agrônomos da época estavam mais interessados em resultados práticos e na formação de híbridos entre espécies do que nas generalizações estatísticas de Mendel. E talvez os cientistas ainda não estivessem preparados para o uso da Estatística como Mendel fez.

O que é certo é que as descobertas em Citologia que dariam uma evidência física para a hereditariedade só ocorreram entre 1882 e 1903, e o trabalho de Mendel foi publicado em 1866.

Mendel tentou verificar se suas leis se aplicavam a uma planta do gênero *Hieracium*, mas os resultados foram contrários aos esperados, já que essa planta se reproduz assexuadamente, a partir de um tecido diploide no ovário.

Além disso, Mendel não explicou a transmissão de características com variação contínua, como a altura de indivíduos ou o peso das sementes de plantas. Somente depois da redescoberta de seus trabalhos é que outros cientistas mostraram como as leis de Mendel podiam ser aplicadas a esses casos.

Fontes de pesquisa: HENIG, R. M. *O monge no jardim*: o gênio esquecido e redescoberto de Gregor Mendel, o pai da Genética. Rio de Janeiro: Rocco, 2001; JANICK, J. Gregor Mendel. In: JANICK, J. (Ed.). *Classic Papers in Horticultural Science*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989. p. 406-416.

Exercícios resolvidos

1. Uma fêmea de porquinho-da-índia, de pelo curto e preto, heterozigota para as duas características, é cruzada com um macho de pelo curto (heterozigoto) e branco. Qual é a probabilidade de nascer um filhote com pelo curto e branco?

Resolução

Os problemas clássicos de di-hibridismo podem ser resolvidos achando os gametas e as fecundações possíveis ou multiplicando as probabilidades de cada caso de monoibridismo.

No primeiro caso, escolhemos as letras que representarão os alelos (utilizamos as iniciais da característica recessiva, sendo letra maiúscula para o alelo dominante e minúscula para o recessivo), descobrimos os genótipos dos pais, achamos os gametas produzidos e realizamos os cruzamentos possíveis. Assim, **L** indica curto; **l**, longo; **B**, preto; **b**, branco. Veja a tabela ao lado.

Portanto, a resposta é 3/8 (2 Llbb e 1 LLbb, curtos e brancos, em 8 indivíduos).

Agora, vamos resolver o problema usando a regra da multiplicação de probabilidades simultâneas.

Pais	♀ Ll Bb curto e preto × ♂ Ll bb curto e branco				
Gametas	**LB, lb, Lb, lB**			**Lb, lb**	
Filhotes	♀ / ♂	**LB**	**Lb**	**lB**	**lb**
	Lb	LLBb	LLbb	LlBb	Llbb
	lb	LlBb	Llbb	llBb	llbb

	Comprimento do pelo	Cor do pelo
Pais	(♀) LI × (♂) LI	(♀) Bb × (♂) bb
Gametas	L, I L, I	B, b b
Filhotes	LL LI LI II curto 3/4 longo 1/4	Bb bb preto 1/2 branco 1/2

A probabilidade de nascer um filhote com pelo curto e branco é: 3/4 × 1/2 = 3/8. Veja a tabela acima.

2. Nos suínos existem cascos indivisos (característica dominante) e cascos fendidos, condicionados pelo genótipo **ff**. Outro lócus, localizado em outro par cromossômico, condiciona a cor dos pelos, que pode ser branca (característica dominante) ou preta (genótipo **pp**). Um porco branco e de cascos indivisos foi cruzado com porcas genotipicamente iguais entre si e fenotipicamente iguais a ele. Nas várias ninhadas havia um total de 144 porquinhos, incluindo alguns pretos e com cascos fendidos.

a) Supondo que a proporção obtida foi idêntica à esperada, quantos porquinhos pretos e com cascos fendidos havia?

b) Quantos porquinhos, do total nascido das ninhadas, se espera que sejam genotipicamente idênticos ao pai, quanto aos alelos aqui considerados?

Resolução

a) Devemos começar o problema organizando os dados fornecidos sobre os alelos: **F** = cascos indivisos; **f** = cascos fendidos; **P** = branca; **p** = = preta. O exercício informa que o porco é branco e tem os cascos indivisos; portanto, em seu genótipo existem, com certeza, os alelos **P** e **F**. Esse porco é cruzado com porcas de mesmo fenótipo que ele; portanto, possuem cascos indivisos e são brancas, tendo com certeza em seu genótipo os alelos **P** e **F**. Do cruzamento, surgem porquinhos pretos de cascos fendidos, isto é, duplamente homozigotos (genótipo ppff).

P_F_ × P_F_
↓
ppff

Então, podemos concluir que o casal era duplamente heterozigoto, conforme mostra o esquema a seguir:

PpFf × PpFf
p p f f

A proporção esperada de homozigotos recessivos em um cruzamento entre indivíduos de genótipo PpFf é 1/16. Como havia 144 porquinhos, o número esperado de homozigotos recessivos é 9 (1/16 × 144 = 9).

b) Os porquinhos genotipicamente iguais aos pais serão PpFf. Do cruzamento PpFf × PpFf, espera-se obter 2/4 de **Pp** e 2/4 de **Ff**, isto é, 4/16 ou 1/4 do total da prole. Se o total da prole são 144 porquinhos, 1/4 de 144 totaliza 36 porquinhos (144/4 = 36).

2 Tri-hibridismo e poli-hibridismo

Quando em um cruzamento estão em jogo três ou mais pares de alelos, o cálculo de F_2 pelo processo de construção de quadrados de Punnett pode ser, em alguns casos, muito trabalhoso, sendo mais fácil multiplicar os resultados de monoibridismos isolados. Vejamos um exemplo.

Imagine um cruzamento em que estejam em jogo três características da ervilha: cor da semente (amarela ou verde), superfície da semente (lisa ou rugosa) e altura da planta (alta ou baixa). Quais são as combinações possíveis para F_2 desse cruzamento (supondo o cruzamento de dois tri-híbridos)?

Podemos encontrar facilmente a proporção de qualquer fenótipo ou genótipo multiplicando as probabilidades de cada monoibridismo. Para saber qual a proporção de indivíduos de semente amarela, superfície lisa e planta alta em F_2, por exempo, basta multiplicar 3/4 (probabilidade para semente amarela) por 3/4 (probabilidade para semente lisa) por 3/4 (probabilidade para planta alta). O resultado é 27/64, que é a proporção do fenótipo em F_2.

Para calcular a proporção em que um genótipo qualquer aparece em $\mathbf{F_2}$, procedemos da mesma forma. Por exemplo, o indivíduo VvRrBb ocorrerá na proporção de 2/4 (**Vv**) × 2/4 (**Rr**) × 2/4 (**Bb**) = 8/64.

Podemos obter a proporção fenotípica e genotípica total de $\mathbf{F_2}$ pelo produto de três monoibridismos ou pelo de um di-hibridismo por um monoibridismo:

Proporção fenotípica

9: 3: 3: 1 (di-hibridismo)

3: 1 (monoibridismo)

27: 9: 9: 3: 9: 3: 3: 1

ou

27: 9: 9: 9: 3: 3: 3: 1

Proporção genotípica

1: 2: 1: 2: 4: 2: 1: 2: 1 (di-hibridismo)

1: 2: 1 (monoibridismo)

1: 2: 1: 2: 4: 2: 1: 2: 1

:2 : 4: 2: 4: 8: 4: 2: 4: 2:

:1: 2: 1: 2: 4: 2: 1: 2: 1

Hibridismo em geral

No monoibridismo o número de tipos de gametas possíveis do híbrido de $\mathbf{F_1}$ é 2, no di-hibridismo é 4 e no tri-hibridismo é 8. Podemos notar que esses valores variam segundo a fórmula 2^n, em que **n** é o número de pares de alelos em heterozigose. Logo, quanto ao número de gametas do híbrido: no monoibridismo (n = 1) é $2^1 = 2$; no di-hibridismo (n = 2) é $2^2 = 4$; no tri-hibridismo (n = 3) é $2^3 = 8$. Considerando um híbrido para quatro pares de alelos, o número de tipos de gametas possíveis em $\mathbf{F_1}$ é $2^4 = 16$.

Usando esse raciocínio, podemos deduzir também uma fórmula para o número de combinações possíveis em $\mathbf{F_2}$ e para o número de genótipos e fenótipos possíveis em $\mathbf{F_2}$ (resultado do cruzamento entre dois híbridos para todos os pares de alelos). Veja a tabela abaixo.

Ocorrências	Fórmulas
Número de pares de alelos para os quais há hibridismo	n
Número de tipos de gametas formados pelos híbridos de $\mathbf{F_1}$	$\mathbf{2^n}$
Número de combinações possíveis entre os gametas de $\mathbf{F_1}$	$\mathbf{4^n}$
Número de fenótipos diferentes em $\mathbf{F_2}$	$\mathbf{2^n}$
Número de genótipos diferentes em $\mathbf{F_2}$	$\mathbf{3^n}$

Assim, em um cruzamento entre di-híbridos AaBb e AaBb, por exemplo, ocorre:

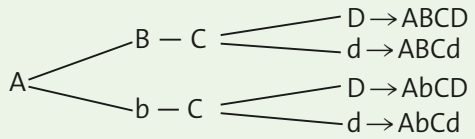
- n = 2;
- $2^2 = 4$ gametas diferentes formados por di-híbrido: **AB**, **Ab**, **aB**, **ab**;
- $4^2 = 16$ tipos de células-ovo formadas em $\mathbf{F_2}$;
- $2^2 = 4$ classes fenotípicas em $\mathbf{F_2}$;
- $3^2 = 9$ classes genotípicas em $\mathbf{F_2}$.

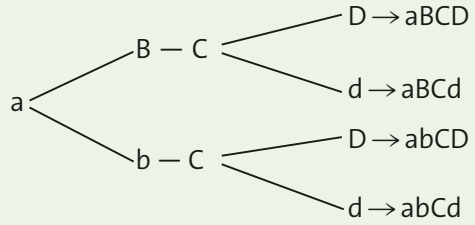
Exercícios resolvidos

1. Que tipos de gameta produz um indivíduo AaBbCCDd?

Resolução

Nesse caso, podemos montar uma árvore de possibilidades (também chamada de método da linha bifurcada ou de diagrama de ramificação):





Podemos conferir o número de gametas possíveis pela fórmula 2^n. No caso, n = 3 (são 3 pares de híbridos):

$2^3 = 8$.

2. Qual é a probabilidade de se conseguir uma ervilha com flores brancas e sementes amarelas e rugosas em um cruzamento de duas plantas tri-híbridas?

Resolução

Podemos resolver esse problema pelo quadrado de Punnett ou pelo método da multiplicação das probabilidades. O segundo método é bem mais rápido. Observe:

- probabilidade de flores brancas: 1/4 (Bb × Bb);
- probabilidade de sementes amarelas: 3/4 (Vv × Vv);
- probabilidade de sementes rugosas: 1/4 (Rr × Rr);
- probabilidade de flores brancas com sementes amarelas e rugosas: 1/4 × 3/4 × 1/4 = 3/64.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Utilizando os conceitos atuais de genética, explique por que, ao realizar a autofecundação de ervilhas amarelas e lisas, Mendel obteve também ervilhas verdes e rugosas.

2. Uma cobaia fêmea híbrida de pelo preto e curto (características dominantes) é cruzada com um macho de pelo marrom e longo.
Qual é a probabilidade de nascer um filhote de pelo preto e longo?

3. Uma distribuidora de grãos deseja obter uma variedade de trigo de alta produtividade. Seus técnicos selecionam três características vantajosas, sabidamente condicionadas por pares de alelos localizados em cromossomos homólogos diferentes. Na primeira etapa da pesquisa era necessário obter apenas indivíduos heterozigotos. Com base nessas informações, responda:

a) Qual é o genótipo escolhido para a geração parental?

b) Quantos genótipos diferentes poderão surgir na geração obtida do cruzamento entre esses indivíduos heterozigotos obtidos?

c) Um fazendeiro comprou de uma empresa agrícola sementes muito produtivas de uma planta heterozigota para várias características. A colheita foi boa e ele resolveu autofecundar as plantas obtidas, em vez de comprar novas sementes. No entanto, as plantas colhidas dessa autofecundação não apresentaram a mesma produtividade. Como você explica isso?

4. Dê o resultado dos cruzamentos entre os seguintes indivíduos:

- AALL × aall;
- AaLL × AaLL;
- AaLl × aall.

5. Uma planta de semente amarela e lisa (características dominantes) foi cruzada com outra de semente verde e rugosa, produzindo metade de descendentes amarelos e rugosos e metade amarelos e lisos. Responda: qual é o genótipo dos pais?

6. Em uma espécie de planta, as folhas podem ser ovais ou redondas, e as flores, azuis ou vermelhas. O cruzamento entre duas plantas híbridas produziu 110 plantas com folhas redondas e flores azuis, 29 plantas com folhas redondas e flores vermelhas, 317 plantas com folhas ovais e flores azuis, 105 plantas com folhas ovais e flores vermelhas. Por esses resultados, quais são, provavelmente, as características dominantes? Justifique sua resposta.

7. (UFSC) Em uma espécie de mamífero existe um par de genes situados em cromossomos autossômicos não homólogos; cada um dos genes possui dois alelos com relação de dominância entre si. Foi cruzado um indivíduo duplo homozigoto dominante com um duplo homozigoto recessivo, obtendo-se a geração $\mathbf{F_1}$. Esta foi entrecruzada e obtiveram-se 352 descendentes.

Qual o número esperado destes descendentes que serão machos com o mesmo fenótipo de seus pais?

8. (UFRN) Considerando a segunda lei de Mendel e o cruzamento entre os indivíduos que apresentam os genótipos AaBb × AaBb:

a) Determine quantos e quais são os gametas que poderão ser formados nos indivíduos AaBb.

b) Demonstre a proporção genotípica desse cruzamento.

9. (Fuvest-SP) Em cobaias, a cor preta é condicionada pelo alelo dominante **D** e a cor marrom, pelo alelo recessivo **d**. Em outro cromossomo, localiza-se o gene responsável pelo padrão da coloração: o alelo dominante **M** determina padrão uniforme (uma única cor) e o alelo recessivo **m**, o padrão malhado (preto/branco ou marrom/branco). O cruzamento de um macho de cor preta uniforme com uma fêmea de cor marrom uniforme produz uma ninhada de 8 filhotes: 3 de cor preta uniforme, 3 de cor marrom uniforme, 1 preto e branco e 1 marrom e branco.

a) Quais os genótipos dos pais?

b) Se o filho preto e branco for cruzado com uma fêmea cujo genótipo é igual ao da mãe dele, qual a proporção esperada de descendentes iguais a ele?

10. (PUC-RS) Para responder à questão, considere as quatro premissas a seguir.

- Genes transmitidos por cromossomos diferentes.
- Genes com expressão fenotípica independente.
- Modo de herança com dominância.
- Padrão de bialelismo.

Um cruzamento di-híbrido entre dois indivíduos duplo heterozigotos teria como resultado a proporção fenotípica de:

a) 1 : 2 : 1.

b) 1 : 2 : 2 : 1.

c) 1 : 3 : 3 : 1.

d) 3 : 9 : 3.

X e) 9 : 3 : 3 : 1.

11. (Uece) Sabe-se que em porquinhos-da-índia o padrão "pelos lisos" domina sobre o padrão "pelos arrepiados", enquanto a cor negra domina sobre a cor branca, estando os genes determinantes destas características situados em pares de cromossomos homólogos diferentes. Cruzando-se porquinhos com padrão liso e de coloração negra, ambos heterozigotos para os dois *loci*, pode-se afirmar, corretamente, que a razão fenotípica de porquinhos arrepiados e brancos é de:

a) 9 : 16.

b) 3 : 8.

c) 3 : 16.

X d) 1 : 16.

12. (UFPB) O aumento da população mundial tem provocado a busca por uma maior produção de alimentos. Dentre as estratégias utilizadas para aumentar a oferta de alimentos, o melhoramento animal, através de cruzamento direcionado, possibilita um ganho de produtividade nas gerações seguintes. Um pequeno pecuarista, de posse desses conhecimentos, para melhorar seu rebanho com relação à produtividade de leite e ao aumento de porte físico dos animais, selecionou uma vaca de seu rebanho, que tinha porte médio e produzia 15 litros de leite por dia, e cruzou com um touro de genótipo aaBb. Sabe-se que:

- Cada alelo **B** contribui com 10 litros de leite por dia e cada alelo **b** com 5 litros;
- O genótipo **aa** define grande porte; **Aa** médio porte e **AA**, pequeno porte.

De acordo com essas informações, julgue os itens a seguir relativos aos possíveis resultados desses cruzamentos:

(///) A probabilidade de nascerem indivíduos com porte maior e mais produtivos que a mãe é admissível.

(///) A probabilidade de ocorrer diminuição na produção de leite da prole resultante do cruzamento é de pelo menos 50%.

(///) A probabilidade de nascerem indivíduos de pequeno porte é de 50%.

(///) A probabilidade de nascer um indivíduo de fenótipo igual ao da mãe é de 25%.

(///) A probabilidade de nascerem indivíduos com fenótipo inferior ao da mãe é de 25%.

V - F - F - V - F

13. (UFRGS-RS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto a seguir, na ordem em que aparecem.

A famosa proporção 9 : 3 : 3 : 1 relacionada à segunda lei de Mendel refere-se à proporção ////////////// esperada da ////// de dois indivíduos heterozigóticos quanto a dois pares de genes (AaBb) localizados em ////////////// de cromossomos.

a) genotípica – F_2 – diferentes pares

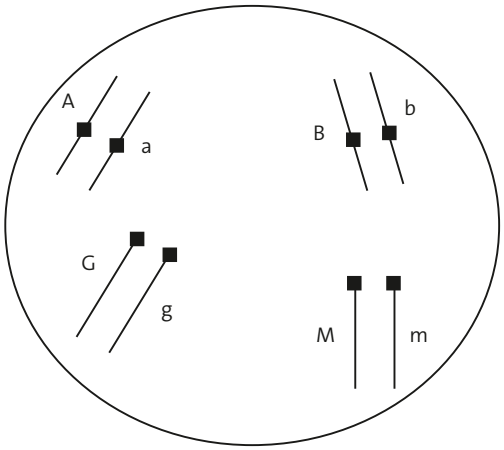
b) fenotípica – F_1 – diferentes pares

c) fenotípica – F_2 – um mesmo par

d) genotípica – F_1 – um mesmo par

X e) fenotípica – F_2 – diferentes pares

14. (Ufla-MG) Oitenta células de um animal com a constituição apresentada na figura sofrem meiose.



O número de espermatozoides diferentes produzidos por esse animal e o número de espermatozoides com a constituição AbGm será, respectivamente:

a) 16 e 40.
b) 8 e 20.
X c) 16 e 20.
d) 8 e 40.

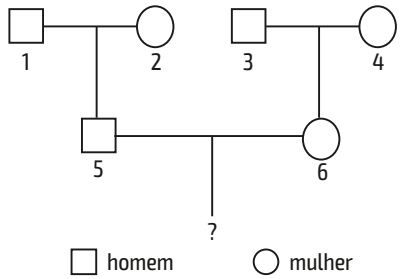
15. (Fuvest-SP) Em tomates, a característica planta alta é dominante em relação à característica planta anã e a cor vermelha do fruto é dominante em relação à cor amarela. Um agricultor cruzou duas linhagens puras: planta alta/fruto vermelho × planta anã/fruto amarelo. Interessado em obter uma linhagem de plantas anãs com frutos vermelhos, deixou que os descendentes dessas plantas cruzassem entre si, obtendo 320 novas plantas. O número esperado de plantas com o fenótipo desejado pelo agricultor e as plantas que ele deve utilizar nos próximos cruzamentos, para que os descendentes apresentem sempre as características desejadas (plantas anãs com frutos vermelhos), estão corretamente indicados em:

a) 16; plantas homozigóticas em relação às duas características.
b) 48; plantas homozigóticas em relação às duas características.
c) 48; plantas heterozigóticas em relação às duas características.
d) 60; plantas heterozigóticas em relação às duas características.
X e) 60; plantas homozigóticas em relação às duas características.

16. (Unimar-SP) Um indivíduo heterozigoto para dois pares de genes (**A** e **a**, **B** e **b**), localizados em dois pares diferentes de cromossomos, formará que tipos de gametas e em que proporções?

a) 75% **AB** e 25% **ab**
b) 50% **Aa** e 50% **Bb**
c) 25% **aa**, 50% **AB** e 25% **bb**
d) 25% **AA**, 50% **ab** e 25% **BB**
X e) 25% **AB**, 25% **aB**, 25% **Ab** e 25% **ab**

17. (PUC-SP) Foram analisadas em uma família duas características autossômicas dominantes com segregação independente: braquidactilia (dedos curtos) e prognatismo mandibular (projeção da mandíbula para a frente). As pessoas indicadas pelos números **1**, **3**, **5** e **6** são braquidáctilas e prognatas, enquanto **2** e **4** têm dedos e mandíbulas normais.



A probabilidade de o casal **5** × **6** ter um descendente simultaneamente braquidáctilo e prognata é de:

a) 1/16.
b) 3/16.
X c) 9/16.
d) 3/4.
e) 1/4.

18. (UFU-MG) A cor do caule dos tomateiros é determinada por um par de genes alelos, sendo que o gene dominante (**A**) confere a cor púrpura, enquanto o gene recessivo (**a**) determina a cor verde. O aparecimento de duas cavidades no tomate é determinado por um gene dominante (**M**), enquanto cavidades múltiplas são determinadas pelo alelo recessivo (**m**). Considerando que esses dois *loci* gênicos se segregam independentemente, a proporção fenotípica esperada na geração F_1 de uma planta di-híbrida submetida a um cruzamento-teste é de:

a) 9 : 3 : 3 : 1.
b) 4 : 2 : 2 : 1.
c) 9 : 7.
X d) 1 : 1 : 1 : 1.
e) 9 : 6 : 1.

19. (PUC-RS) Quantos tipos de gameta deverá formar um descendente do cruzamento AABBCCDDEE × aabbccddee?

a) 84
b) 76
c) 46
X d) 32
e) 24

20. (PUCC-SP) Qual é a probabilidade de um casal de duplo heterozigotos para dois pares de genes autossômicos com segregação independente vir a ter um descendente com apenas uma característica dominante?

a) 15/16
b) 9/16
X c) 6/16
d) 3/16
e) 1/16

21. (UEPG-PR) De acordo com a segunda lei de Mendel, assinale o que for correto, no que se refere ao cálculo referente aos tipos de gametas formados por um indivíduo. 02 + 04 + 08 + 16 = 30

(01) Considerando-se um indivíduo AaBbcc pode-se esperar que sejam produzidos cinco tipos de gametas diferentes.

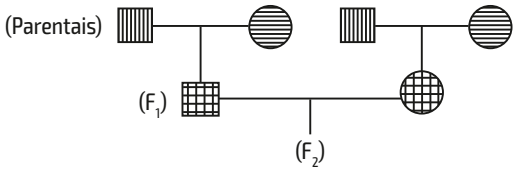
(02) Considerando-se um indivíduo AabbCc, formam-se quatro tipos de gametas em iguais proporções: 1/4 AbC, 1/4 Abc, 1/4 abC e 1/4 abc.

(04) Quando se deseja saber apenas o número de tipos diferentes de gametas, pode-se utilizar a seguinte fórmula: 2^n, onde n = número de pares de alelos em heterozigose.

(08) Considerando-se um indivíduo AaBbCc pode-se esperar que sejam produzidos oito tipos de gametas diferentes.

(16) Considerando-se um indivíduo AaBb, como esses pares de alelos segregam-se independentemente, um gameta tem de ter o alelo A e o outro o alelo a; tendo o alelo A, o outro alelo que pode ocorrer nesse gameta é o B ou o b. No indivíduo são formados, então, quatro tipos de gametas em iguais proporções: 1/4 AB, 1/4 Ab, 1/4 aB e 1/4 ab.

22. (FGV-SP) Analise o heredograma que ilustra a transmissão de duas características genéticas, cada uma condicionada por um par de alelos autossômicos com dominância simples.



Fenótipos			Genótipos
1	ou		A_B_
2	ou		A_bb
3	ou		aaB_
4	ou		aa bb

Admitindo que todos os indivíduos da geração parental são duplo homozigotos, e que foram gerados em (**F_2**) cerca de cem descendentes, é correto afirmar que a proporção esperada para os fenótipos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, é de

a) 3:1:3:1.
X b) 9:3:3:1.
c) 1:1:1:1.
d) 3:3:1:1.
e) 1:3:3:1.

23. (Enem) A mosca *Drosophila*, conhecida como mosca-das-frutas, é bastante estudada no meio acadêmico pelos geneticistas. Dois caracteres estão entre os mais estudados: tamanho da asa e cor do corpo, cada um condicionado por gene autossômico. Em se tratando do tamanho da asa, a característica asa vestigial é recessiva e a característica asa longa, dominante. Em relação à cor do indivíduo, a coloração cinza é recessiva e a cor preta, dominante.

Em um experimento, foi realizado um cruzamento entre indivíduos heterozigotos para os dois caracteres, do qual foram geradas 288 moscas. Dessas, qual é a quantidade esperada de moscas que apresentam o mesmo fenótipo dos indivíduos parentais?

a) 288
X b) 162
c) 108
d) 72
e) 54

Sugestões de aprofundamento

Para ler:

- **A tripla hélice.** Richard Lewontin. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

Para acessar:

- **Aconselhamento genético:** <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232002000100009>
- **Genética e bioestatística (USP – Univesp):** <http://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=1964>
- **Noções de probabilidade:** <www.ime.usp.br/~hbolfar/aula_2013/Aula%204%20-%20Probabilidade%20%20A12012.pdf>

Acesso em: 20 abr. 2016.

UNIDADE 2

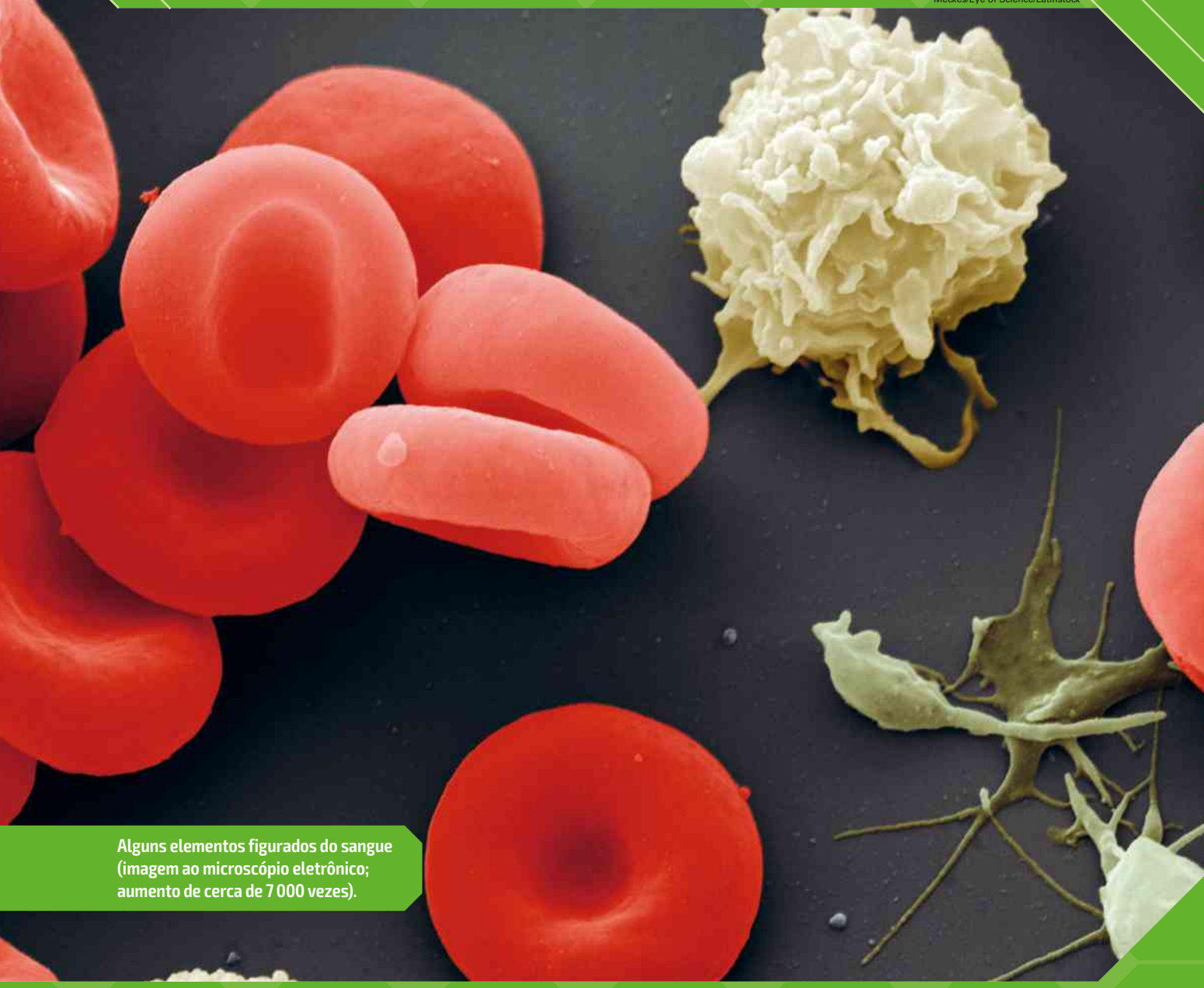
A genética depois de Mendel

Muitas descobertas em Genética foram feitas depois dos trabalhos de Mendel. Nos anos 1940 e início dos anos 1950, experimentos mostraram que os cromossomos são as estruturas que contêm os genes, e que eles são formados principalmente de DNA. A descoberta da estrutura dessa molécula, em 1953, marcou o início da era da Genética molecular. Desde a década de 1970, já é possível manipular diretamente a informação genética dos organismos, por meio da Engenharia genética. Experimentos nessa área, entretanto, podem gerar opiniões muito divergentes na sociedade. Entender os conceitos básicos dessa área, portanto, é fundamental para discutir novas ideias e formar opiniões.

CAPÍTULO 3

Grupos sanguíneos e polialelia

Meckes/Eye of Science/Latinstock



Alguns elementos figurados do sangue (imagem ao microscópio eletrônico; aumento de cerca de 7 000 vezes).

Na figura acima podem ser vistos alguns elementos do sangue: hemácias (em vermelho), um leucócito (no alto, à direita) e plaquetas (em branco, abaixo e à direita). Você já estudou o sangue e o sistema circulatório nos Volumes 1 e 2 desta coleção. Talvez você já tenha ouvido falar dos diferentes tipos de grupos sanguíneos. Antes de a ciência conhecer e compreender a importância desses grupos sanguíneos, acidentes fatais nas transfusões de sangue eram comuns. O conhecimento desses grupos e de sua genética evitou esses e outros problemas, como você verá neste capítulo.

- *Você sabe qual é o seu tipo sanguíneo?*
- *O que diferencia os tipos sanguíneos?*
- *Você sabe o que é doador universal de hemácias? E receptor universal?*
- *Qual é a relação entre os grupos sanguíneos e a Genética?*

1 Antígenos e anticorpos

Antes de estudarmos os grupos sanguíneos, vamos fazer uma breve revisão dos conceitos de antígenos e anticorpos, vistos no Volume 1 desta coleção.

O sangue é constituído por uma parte líquida denominada plasma. Nele estão mergulhadas as células ou fragmentos delas, conhecidos como elementos figurados: hemácias, glóbulos vermelhos ou eritrócitos; leucócitos ou glóbulos brancos; e plaquetas.

Por centrifugação, podemos separar esses componentes do sangue. Desse processo, obtém-se um líquido claro (o plasma) e um depósito de células. O plasma representa cerca de 55% do sangue e nele há várias proteínas. Entre elas, o **fibrinogênio**, que participa do processo de coagulação do sangue. O plasma sem o fibrinogênio recebe o nome de **soro**. As hemácias são os elementos figurados mais numerosos.

Cada ser vivo possui um grupo de proteínas diferente de qualquer outro ser. Assim, quando, por exemplo, uma bactéria ou um organismo estranho penetra no corpo, suas proteínas não são reconhecidas (**antígenos**) e inicia-se a produção de proteínas chamadas **anticorpos**, que neutralizam os antígenos. Os anticorpos são específicos: para cada tipo de antígeno é produzido apenas um tipo de anticorpo, com forma complementar à do antígeno.

2 Sistema ABO de grupos sanguíneos

Na espécie humana existem quatro grupos sanguíneos do sistema ABO – A, B, AB e O –, relacionados à presença de certos antígenos na membrana das hemácias (figura 3.1).

Pessoas do grupo A apresentam um antígeno chamado **aglutinogênio A** (do grego *agglutinatio* = agrupado com grude); as do grupo B, o antígeno **aglutinogênio B**; as pessoas do grupo AB apresentam os dois antígenos; e as do grupo O não apresentam nem A nem B. O grupo O (letra "O" maiúscula) foi inicialmente chamado "grupo zero (grupo 0)", por não ter antígenos A ou B, mas atualmente é mais comum usar a letra "O" para esse grupo, embora em algumas partes da Europa ainda se use o número zero (0).

Grupo	Hemácia	Plasma (aglutininas)	Genótipo
A	aglutinogênio A	anti-B	I^AI^A (AA) I^Ai (AO)
B	aglutinogênio B	anti-A	I^BI^B (BB) I^Bi (BO)
AB	aglutinogênios A e B	nenhuma	I^AI^B (AB)
O	sem aglutinogênios	anti-A anti-B	ii (OO)

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

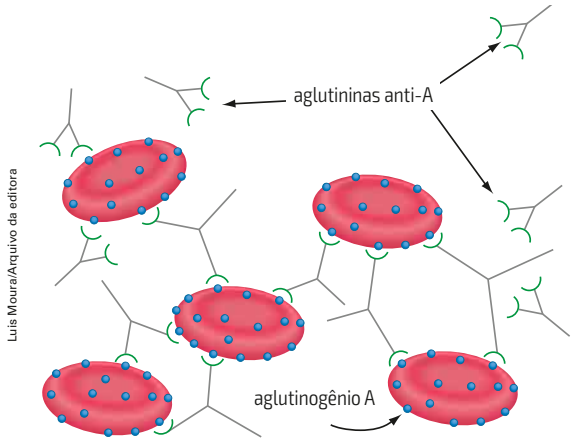
Figura 3.1 Grupos sanguíneos do sistema ABO e seus respectivos antígenos, aglutininas e genótipos. (Os elementos da ilustração estão sem escala; cores fantasia.)

Esses antígenos são polissacarídeos presos à membrana da hemácia e sua presença é controlada por três alelos localizados no par do cromossomo 9. Esses alelos promovem a síntese de enzimas que acrescentam açúcares específicos a uma substância precursora na membrana da hemácia. O alelo **A** ou I^A condiciona a formação do aglutinogênio A; o alelo **B** ou I^B condiciona a formação do aglutinogênio B; o alelo **O** ou **i** (ou I^o) não forma essas substâncias (a letra **I** vem de isoaglutinação, que é a aglutinação ocorrida na transfusão de sangue de indivíduos da mesma espécie).

Os alelos I^A e I^B são dominantes em relação a **i**. Por isso pessoas de genótipos I^AI^A e I^Ai apresentam o aglutinogênio A, e pessoas de genótipos I^BI^B e I^Bi, o aglutinogênio B. Os indivíduos **ii** não possuem nem um nem outro aglutinogênio. Entre os alelos I^A e I^B há codominância; assim, cada um fornece o seu efeito e aparecem as duas substâncias.

Além dos aglutinogênios nas hemácias, podem ser encontrados no plasma anticorpos contra esses aglutinogênios, chamados **aglutininas** ou **isoglutininas** (do grego *isos* = igual). O termo *aglutinina* é usado para indicar que esses anticorpos provocam a aglutinação das hemácias (figura 3.2). Desse modo, os anticorpos impedem que as hemácias se espalhem no organismo, auxiliando no processo de fagocitose pelos glóbulos brancos.

A formação dos anticorpos começa logo após o nascimento por causa da contaminação natural por bactérias que possuem polissacarídeos semelhantes aos aglutinogênios A e B. Assim, o organismo de uma criança do grupo A produz aglutininas anti-B (ou α) e o de uma criança do grupo B produz aglutinina anti-A (ou β). O organismo de crianças do grupo O forma as duas aglutininas, uma vez que os dois antígenos bacterianos (A e B) são estranhos ao seu patrimônio químico. Já o organismo de crianças do grupo AB (com os dois antígenos) não estranha a presença dos antígenos bacterianos e não forma aglutininas contra eles.



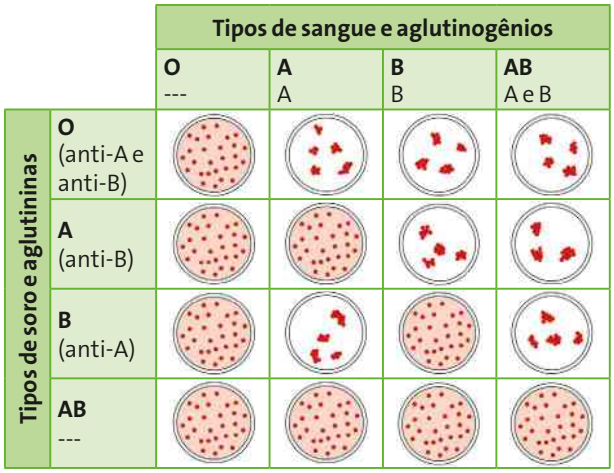
Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 3.2 Exemplo de aglutinação: hemácias com aglutinogênio A são aglutinadas quando em soro com aglutininas anti-A (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; anticorpos são cerca de cem vezes menores que uma célula; cores fantasia).

Teste para determinar o grupo sanguíneo

O teste para saber a que grupo sanguíneo uma pessoa pertence é feito por profissionais de saúde nos laboratórios ou nos hospitais. São necessárias duas gotas de sangue: a uma delas adiciona-se uma gota de soro com aglutinina anti-A e à outra, soro anti-B. Assim, pode-se ver quando há aglutinação das hemácias. Se elas tiverem os dois aglutinogênios (sangue AB), a aglutinação ocorrerá nas duas misturas, ou seja, onde houver soro anti-A (portador de aglutinina anti-A) e soro anti-B (portador de aglutinina anti-B). Se nas hemácias houver apenas aglutinogênio A (sangue A), ocorrerá aglutinação somente no soro anti-A. Se apresentarem apenas aglutinogênio B (sangue B), ocorrerá aglutinação somente no soro anti-B. Se não houver aglutinação em nenhuma das misturas, as hemácias não possuem esses aglutinogênios e o sangue é do tipo O.

O quadro abaixo ilustra as misturas dos tipos de soro e de sangue (figura 3.3):



Ilustrações: Shutterstock/Glow Images

Figura 3.3 Resultado das misturas dos tipos de soros e tipos de sangue. As partes brancas com grupos de hemácias indicam que houve aglutinação (figura sem escala; cores fantasia).

História da ciência

As descobertas dos grupos ABO

Até o início do século XX ocorriam muitos acidentes fatais decorrentes de transfusões de sangue. Em 1900, o médico austríaco Karl Landsteiner (1868-1943) observou que, ao misturar sangue de algumas pessoas com soro de outras, às vezes ocorria uma reação de aglutinação; em outras vezes, nada ocorria. A partir disso, ele descobriu os grupos sanguíneos A, B e O. O grupo AB foi descoberto em 1902, por seus colaboradores. Landsteiner descobriu também que o soro de cada pessoa possui anticorpos contra os antígenos que estavam ausentes de suas hemácias e também que a aglutinação era causada por uma reação entre antígenos e anticorpos.

Exercícios resolvidos

1. (Fuvest-SP) O pai e a mãe de um par de gêmeos dizigóticos têm tipo sanguíneo AB. Qual a probabilidade de ambos os gêmeos terem sangue do tipo AB? Por quê?

Resolução

O pai e a mãe têm genótipo I^AI^B. Portanto, a probabilidade de gerarem uma criança AB é 1/2.

	I^A	I^B
I^A	I^AI^A	I^AI^B
I^B	I^AI^B	I^BI^B

1/2 ou 50% de sangue AB

Como queremos saber a probabilidade de o casal gerar duas crianças gêmeas dizigóticas, resolvemos o problema como se fosse pedida a probabilidade de obtermos duas crianças nascidas em épocas distintas. Portanto, a probabilidade de a primeira e a segunda crianças serem AB é 1/2 × 1/2 = 1/4 ou 25%.

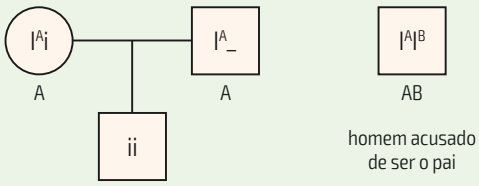
2. Uma mulher do grupo A, casada com um homem do grupo A, tem uma criança do grupo O. O marido acusa um indivíduo do grupo AB de ser o pai da criança. Responda:

a) A acusação é válida?

b) Podemos provar quem é o verdadeiro pai apenas analisando esses grupos de sangue?

Resolução

a) Veja o esquema abaixo:



Pelo esquema, vemos que a acusação não é válida. O homem AB não pode ser o pai, pois não tem o alelo **i**, necessário para que um filho seu seja do grupo O.

b) Não podemos provar a paternidade apenas com o grupo sanguíneo ABO. A análise dos vários grupos sanguíneos permite apenas provar, em certos casos, que determinado indivíduo não pode ser o pai de uma criança. Como veremos no Capítulo 7, o teste de DNA é o mais indicado para determinar se um indivíduo é ou não o pai de uma criança, visto que sua confiabilidade pode ser igual ou maior que 99,99%.

Transfusões de sangue

Uma das principais razões pelas quais o sangue é testado para o tipo sanguíneo é a necessidade de transfusão. A transfusão sanguínea é feita quando um paciente perde muito sangue e seu organismo não é capaz de repor sozinho o que foi perdido. Transfusões também podem ser parte do tratamento de algumas doenças.

O sangue que será doado para transfusões é separado em diversos elementos: concentrado de hemácias, plasma (por sua vez, separado em vários componentes), concentrado de plaquetas, etc. Cada um poderá ser usado conforme a situação específica: em certos casos de anemia ou hemorragia aguda, por exemplo, há necessidade de transfusão de concentrado de hemácias. Já o plasma pode ser usado quando há deficiência de múltiplos fatores de coagulação e quando não estiverem disponíveis concentrados comerciais desses fatores (obtidos por técnicas de engenharia genética). Essas condições devem ser avaliadas pela equipe médica. A transfusão de sangue total, com todos os seus componentes, tem uso muito restrito. Se for necessário, o sangue pode ser reconstituído a partir do concentrado de hemácias e do plasma.

Antes da transfusão, deve ser observado se o sangue do doador é compatível com o sangue do receptor. É feita a mistura do soro do receptor com as hemácias do doador para investigar a presença de anticorpos contra os antígenos presentes nas hemácias deste último.

Se o sangue (na forma de concentrado de hemácias) de um indivíduo do grupo A ou do grupo AB for doado a um indivíduo do grupo B, as hemácias do doador serão aglutinadas pelas aglutininas anti-A do plasma do receptor. Os aglomerados de hemácias obstruem pequenos vasos sanguíneos e causam problemas circulatórios. Algum tempo depois, essas hemácias são destruídas por glóbulos brancos e li-

beram a hemoglobina e outros produtos no plasma. Com isso, pode ocorrer desde uma pequena reação alérgica até lesões renais graves (causadas pelos produtos liberados) e morte. O mesmo ocorre se um indivíduo do grupo B ou do grupo AB doar sangue a um do grupo A, pois suas hemácias serão aglutinadas pelas aglutininas anti-B do plasma do receptor, ou se um indivíduo do grupo O receber doação de qualquer pessoa de grupo sanguíneo diferente do seu, visto que em seu plasma há tanto aglutinina anti-A como anti-B.

A pessoa portadora do tipo de sangue O não tem aglutinogênios A ou B nas hemácias. Por isso, dizemos que esse grupo é um **doador universal**, uma vez que seu sangue, na forma de concentrado de hemácias (melhor seria falar, portanto, em doador universal de hemácias), pode ser doado para pessoas com sangue A, B, AB ou O. Na prática, as pessoas recebem preferencialmente sangue do mesmo tipo que o seu. As hemácias de sangue tipo O devem ser usadas em pacientes de outro grupo sanguíneo apenas em situações de emergência.

De modo semelhante, pessoas do grupo AB, por não terem aglutininas anti-A ou anti-B no plasma, aceitam transfusões de hemácias de pessoas com sangue A, B, AB ou O, sendo chamadas **receptores universais** (ou **receptores universais de hemácias**).

Na resolução de problemas, é costume aceitar que o sangue O é um doador universal e o AB um receptor universal, ficando subentendido que se trata de uma transfusão de hemácias, e não de plasma. Veja abaixo o esquema de compatibilidade de grupos sanguíneos para a transfusão de hemácias (figura 3.4).

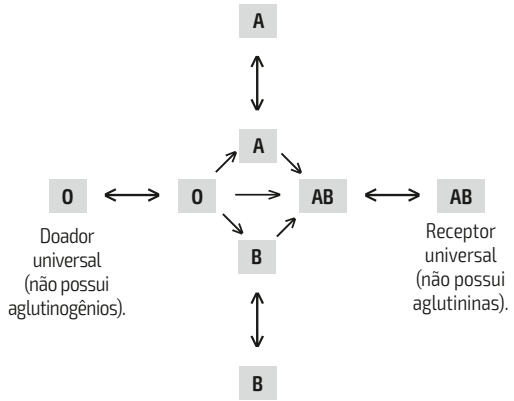


Figura 3.4 Possibilidades de transfusão de hemácias. O sentido das setas indica os possíveis doadores para cada grupo sanguíneo.

3 Sistema Rh de grupos sanguíneos

Outro sistema de classificação de grupos sanguíneos é chamado sistema Rh (iniciais de *Rhesus*, o gênero de macaco no qual esse antígeno foi descoberto inicialmente). Cerca de 85% dos seres humanos possuem em suas hemácias o antígeno **Rh** e são chamadas **Rh positivas** (**Rh**$^+$). As que não têm esse antígeno são **Rh negativas** (**Rh**$^-$).

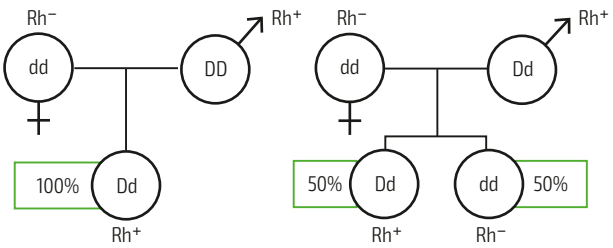
Embora vários alelos estejam envolvidos na herança do fator Rh, para efeito de incompatibilidade de grupos sanguíneos podemos considerar apenas um par de alelos: **D** (dominante, faz aparecer esse antígeno) e **d** (recessivo).

Ao contrário dos antígenos do sistema ABO, o antígeno Rh não é encontrado em bactérias e, a princípio, um indivíduo negativo não possui anticorpos no plasma. Em geral, os indivíduos Rh$^-$ produzem anticorpos correspondentes quando recebem hemácias com o antígeno Rh, o que pode ocorrer durante a gravidez, no parto ou em transfusões. Veja o quadro abaixo.

Genótipo	Grupo	Hemácia	Plasma
DD ou Dd	Rh$^+$	Com antígeno Rh	Sem anticorpos anti-Rh
dd	Rh$^-$	Sem antígeno Rh	Com anticorpos anti-Rh se recebeu hemácias com antígeno Rh

Nas transfusões de hemácias, uma pessoa com fator Rh$^+$ pode receber tanto sangue Rh$^+$ como Rh$^-$, enquanto uma pessoa Rh$^-$ deve receber apenas sangue Rh$^-$. Por isso, o doador universal de hemácias deve ser do grupo O e Rh$^-$ e o receptor universal de hemácias deve ser do grupo AB e Rh$^+$ (excepcionalmente, em casos de urgência, é possível transfundir hemácias com fator Rh positivo para pacientes Rh negativos).

Quando uma mulher Rh$^-$ tem um filho com um homem Rh$^+$ homozigoto, todos os filhos do casal serão Rh$^+$. Porém, se a mulher é Rh$^-$ e o homem é Rh$^+$ heterozigoto, podem nascer filhos Rh$^+$ e Rh$^-$. Observe o esquema abaixo.



A **eritroblastose fetal** (do grego *erythron* = vermelho; *blastós* = germe) ou **doença hemolítica do recém-nascido** (**DHRN**) (do grego *haîma* = sangue; *lysis* = destruição) pode ocorrer em filhos de mãe Rh^-. Se o filho for Rh^-, terá o mesmo padrão da mãe e não haverá incompatibilidade entre eles. Se for Rh^+, alguns dias antes do nascimento e principalmente durante o parto, uma parte do sangue do feto escapa para o organismo materno, que é estimulado a produzir anticorpo anti-Rh. Como essa produção não é imediata, o primeiro filho nascerá livre de problemas (figura 3.5). Entretanto, em uma possível segunda gestação, os anticorpos maternos, já concentrados no sangue, atravessam a placenta e podem provocar aglutinação das hemácias do feto, que serão fagocitadas e destruídas. Nesse caso, ao nascer, a criança apresenta anemia e icterícia: a hemoglobina da hemácia destruída é transformada em **bilirrubina** (pigmento amarelo), substância que em quantidade excessiva se deposita nos tecidos e dá coloração amarelada à pele. Além disso, pode se depositar no cérebro da criança e provocar surdez e deficiência mental. A destruição das hemácias do feto e do recém-nascido leva os órgãos produtores de sangue a lançar na circulação hemácias ainda jovens – os **eritroblastos** –, daí o nome da doença.

Nos casos mais graves, chega a ocorrer aborto involuntário. Se a criança nascer, poderá ser salva com a troca gradativa de seu sangue por sangue Rh^-. As novas hemácias Rh^- não serão destruídas e, após algum tempo, quando forem substituídas naturalmente por hemácias Rh^+ da própria criança, os anticorpos anti-Rh que passaram da mãe para a criança já terão sido eliminados.

Para prevenir a eritroblastose fetal, até três dias após o parto da primeira criança Rh^+ (ou entre a 28ª e a 30ª semana de gestação), a mãe Rh^- deve receber uma aplicação de anticorpos anti-Rh. Provenientes do plasma de pessoas Rh^- sensibilizadas, esses anticorpos destroem as hemácias Rh^+ deixadas pelo feto no sangue da mãe, o que impede o desencadeamento da produção de anticorpos maternos.

Com o tempo, esses anticorpos são eliminados. Como o sistema imune da mulher não foi sensibilizado, ela fica livre para uma nova gravidez. Se, novamente, a criança for Rh^+, não haverá problema, pois será como se fosse o primeiro filho. No entanto, o tratamento tem de ser repetido para prevenir acidentes na gravidez seguinte, pois durante o parto a criança, sendo positiva, pode lançar hemácias com antígenos no sangue materno.

Quando a mãe é Rh^+ e o filho é Rh^-, não há problemas para a mãe, uma vez que a produção de anticorpos pela criança só ocorre cerca de seis meses após o nascimento.

Sistema MN de grupos sanguíneos

Outro sistema sanguíneo é o **MN**. Entre os vários alelos relacionados a ele, destacam-se $\mathbf{L^M}$ ou **M** – que produz o antígeno **M** – e $\mathbf{L^N}$ ou **N** – que produz o antígeno **N**.

Como os alelos implicados no processo são codominantes, há três genótipos e três fenótipos: $\mathbf{L^M L^M}$ (antígeno **M**), grupo **M**; $\mathbf{L^N L^N}$ (antígeno **N**), grupo **N**; $\mathbf{L^M L^N}$ (antígenos **M** e **N**), grupo **MN**.

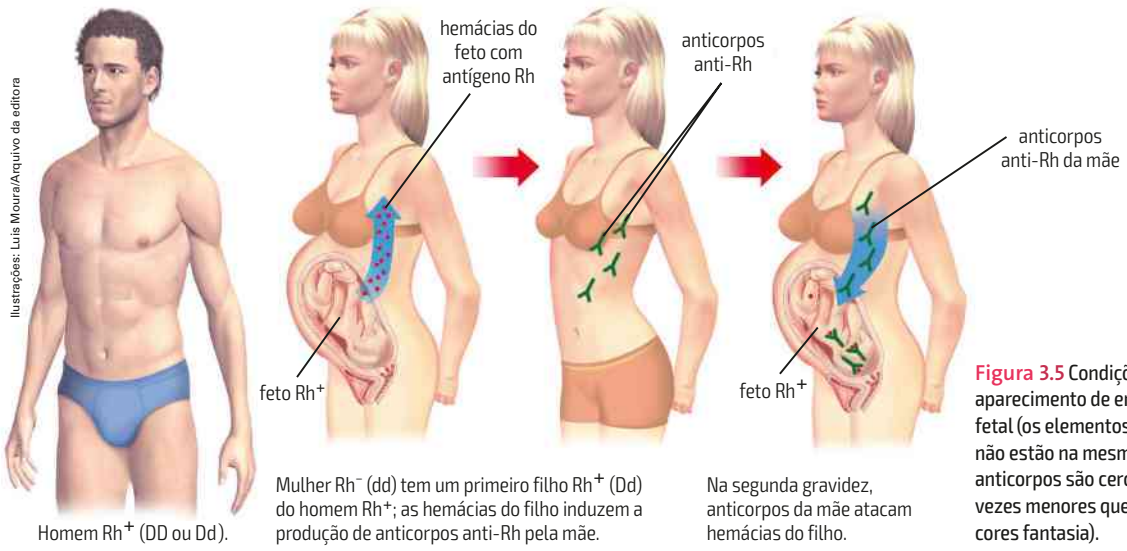


Figura 3.5 Condições para o aparecimento de eritroblastose fetal (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; anticorpos são cerca de cem vezes menores que uma célula; cores fantasia).

Exercício resolvido

(PUC-SP) Duas mulheres disputam a maternidade de uma criança que, ao nascer, apresentou a doença hemolítica ou eritroblastose fetal. O sangue das duas mulheres foi testado com o uso do soro anti-Rh (anti-D), e os resultados são apresentados ao lado.
Qual das mulheres poderia ser a verdadeira mãe daquela criança? Justifique sua resposta.

Resolução

A mãe da criança é a mulher número **2** porque é Rh^-, visto que seu sangue não sofre aglutinação em presença de soro anti-Rh (anti-D). Note que utilizamos um teste semelhante ao do sistema ABO para averiguar se a pessoa possui ou não o aglutinogênio Rh na superfície das hemácias.

Ilustrações: Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

4 Alelos múltiplos em coelhos

Os genes podem sofrer diversas mutações ao longo do tempo e originar vários alelos. Assim, um alelo original **A**, chamado **selvagem**, por ser o primeiro a aparecer na natureza, pode sofrer duas, três ou mais mutações diferentes e originar uma série de múltiplos alelos que influenciam o mesmo caráter.

Esse fenômeno é chamado **polialelia** (do grego *polys* = muitos).

A cor da pelagem dos coelhos é um exemplo clássico de polialelia. Ela é influenciada por quatro alelos. O alelo **C** condiciona pelagem selvagem, que é mais comum na natureza: pelo marrom-escuro com uma faixa amarela próximo à extremidade, o que dá um tom castanho à pelagem. Esse padrão de pelagem também é chamado aguti (do tupi *aku'ti* = cotia, já que esse tipo de pelo é encontrado entre mamíferos roedores). O alelo **C** sofreu mutações e produziu mais três alelos:

- o alelo $\mathbf{c^{ch}}$ para chinchila (o pelo, cinza-prateado, é semelhante ao das chinchilas, um roedor);
- o alelo $\mathbf{c^{h}}$ para himalaia (pelo branco, com patas, focinho, rabo e orelhas pretos; essa variedade teria, supostamente, surgido nas cordilheiras do Himalaia, na Ásia);
- o alelo **c** (ou $\mathbf{c^{a}}$) para albino (pelo totalmente branco).

Esses alelos apresentam dominância na ordem citada: **C** domina todos os outros alelos; $\mathbf{c^{ch}}$ domina $\mathbf{c^{h}}$ e **c**; $\mathbf{c^{h}}$ domina **c**. Essa ordem de dominância de um alelo sobre outro pode ser esquematizada assim:

$$C > c^{ch} > c^{h} > c$$

Veja na figura 3.6 os possíveis fenótipos e genótipos.

Embora existam mais de dois alelos que influenciam a cor da pelagem em coelhos, cada indivíduo possui apenas um par de cromossomos homólogos que porta tais alelos. Há, portanto, apenas um par de alelos (um alelo em cada cromossomo do par de homólogos) responsável por determinar a cor dos pelos. Assim, os problemas de polialelia são semelhantes aos de monoibridismo.

Fenótipo	Panbazil/Shutterstock/Glow Images Selvagem ou aguti	Zhukov Oleg/Shutterstock/Glow Images Chinchila	Shutterstock/Glow Images Himalaia	Shutterstock/Glow Images Albino
Genótipo	CC Cc^{ch} Cc^{h} Cc	$c^{ch}c^{ch}$ $c^{ch}c^{h}$ $c^{ch}c$	$c^{h}c^{h}$ $c^{h}c$	cc

Figura 3.6 A polialelia que determina o padrão de cores da pelagem em coelhos (coelhos adultos têm de 18 cm a 30 cm de comprimento, aproximadamente).

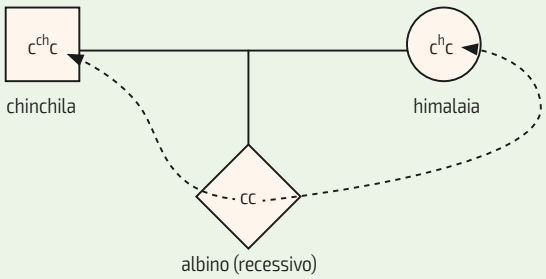
Exercícios resolvidos

1. Um coelho chinchila é cruzado com uma coelha himalaia e nasce um filhote albino. Dê os genótipos dos coelhos.

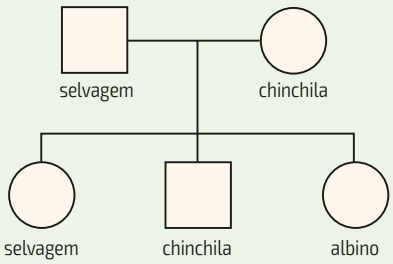
Resolução

Na resolução de problemas de polialelia, é preciso levar em conta que, apesar de estarem em jogo três ou mais alelos de cada gene, cada indivíduo apresenta apenas um par de cromossomos homólogos portadores desses alelos.

Montando um esquema como o mostrado a seguir, descobrimos os genótipos pedidos. As setas indicam como cada alelo é descoberto.



2. Observe a genealogia abaixo e responda às questões.



a) Qual é o genótipo dos coelhos apresentados?

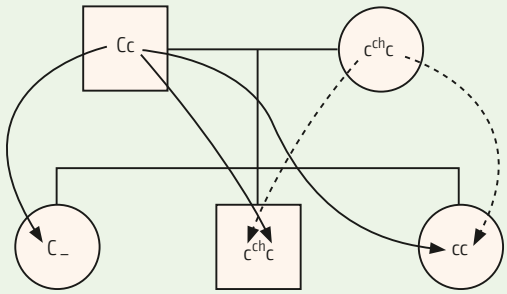
b) Se do cruzamento da coelha albina com um macho himalaia nascer um coelho albino, qual será a probabilidade de esse casal produzir duas coelhas albinas?

Resolução

a) Vamos por partes.

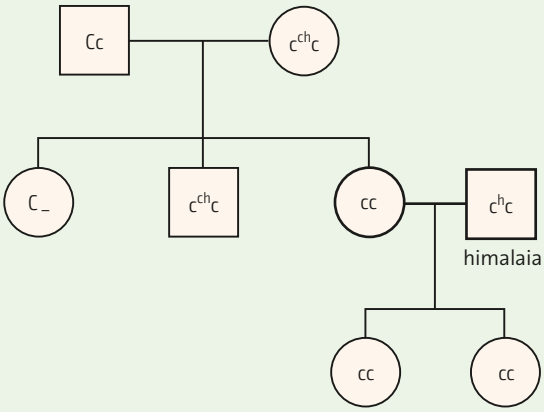
- A fêmea do casal é chinchila; portanto, possui o alelo $\mathbf{c^{ch}}$ em seu genótipo.
- O macho do casal é selvagem e, com certeza, apresenta o alelo **C**.
- O primeiro filho é uma coelha selvagem; portanto, sabemos apenas que possui o alelo **C**, recebido do pai.
- O segundo é chinchila; sabemos que possui o alelo $\mathbf{c^{ch}}$.
- O terceiro é uma coelha albina; portanto, seu genótipo é, com certeza, **cc**. Dessa forma, concluímos que tanto seu pai quanto sua mãe possuem o alelo **c** no genótipo e podemos concluir o genótipo da família.
- Voltando aos filhotes, nada podemos concluir a respeito do genótipo da coelha selvagem a não ser a presença do alelo **C**. O segundo coelho já tem um alelo $\mathbf{c^{ch}}$ de origem materna; portanto, recebeu de seu pai o alelo **c**.

  Veja o esquema abaixo.



b) Se do cruzamento da coelha albina com o macho himalaia nascer um coelho albino, o genótipo do coelho himalaia será $\mathbf{c^{h}c}$.

Veja o esquema abaixo.



Assim, a chance de produzirem coelhos albinos em um cruzamento desse casal é de 1/2:

	c^h	c
c	c^hc	cc

1/2 ou 50% de chance de o coelho ser albino

Para calcular coelhos albinos e fêmeas, devemos multiplicar 1/2 de chance de o casal produzir coelhos albinos por 1/2 de chance de o coelho ser fêmea, obtendo 1/4.

Como o problema pede duas coelhas, devemos multiplicar a chance de, em dois nascimentos consecutivos, obtermos coelhas albinas, isto é, multiplicamos 1/4 por 1/4 e obtemos 1/16.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Atividades

1. Qual é o perigo de se fazer transfusão de sangue tipo B para uma pessoa do tipo A?

2. Um mesmo gene pode ter muitos alelos. Então responda:
a) Como podem surgir muitos alelos a partir de um gene?
b) Um estudante afirmou que em casos de polialelia, a lei da segregação de um par de fatores não se aplica. Você concorda? Justifique sua resposta.

3. Uma pessoa do grupo O pode receber hemácias de uma pessoa do grupo AB? Justifique sua resposta.

4. Uma mulher que nunca recebeu transfusão de sangue deu à luz, em uma segunda gravidez, uma criança com eritroblastose fetal. Uma terceira criança nasceu normal. Qual é o genótipo da mãe, do pai e dos três filhos em relação ao fator Rh? (Observação: a mulher não recebeu nenhum tratamento preventivo.)

5. Em um dia nasceram quatro bebês em uma maternidade, cada um filho de um casal. Com base nos grupos sanguíneos dos bebês e dos grupos dos casais de pais, identifique quais são os pais de cada bebê.

bebê **1**: grupo A	casal **I**: A e AB
bebê **2**: grupo B	casal **II**: A e O
bebê **3**: grupo AB	casal **III**: AB e O
bebê **4**: grupo O	casal **IV**: O e O

6. Você já deve ter ouvido alguém dizer: "Este é meu filho. Ele tem meu sangue correndo nas veias". Sob o ponto de vista genético, essa afirmativa está inteiramente errada?

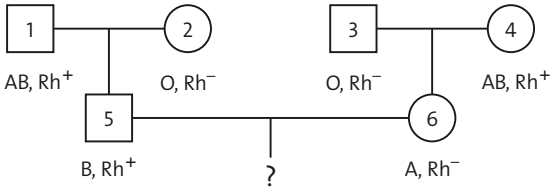
7. Leia o texto abaixo e, em seguida, responda ao que se pede.

Um tipo raro de sangue, de genótipo hh e sem o antígeno H, foi descoberto em Bombaim (Índia), onde existe 1 caso em cada 10 mil indivíduos. Por não ter substância H, o indivíduo hh não pode ter os aglutinogênios A e B, mesmo sendo portador dos genes I^A e I^B, e suas hemácias aparentam ser do grupo O, visto que não são aglutinadas por soros com anti-A ou anti-B.
Apesar de não ter os antígenos A e B nas hemácias, o indivíduo hh é diferente do indivíduo O, pois este possui a substância H em suas hemácias, que podem, por isso, se aglutinar por um soro anti-H. O fenótipo correspondente ao genótipo hh é chamado fenótipo Bombaim, falso zero ou Oh.
Um indivíduo falso zero pode ter os genes I^A ou I^B e transmiti-los aos seus descendentes, que poderão manifestar esses fenótipos se possuírem um gene H.

a) Um exame de sangue com anticorpos anti-H pode distinguir um indivíduo do grupo O de um indivíduo falso zero (Bombaim)? Explique.
b) Explique como um homem do grupo AB, casado com uma mulher homozigota do grupo A, pode ter um filho cujas hemácias não são aglutinadas por soro anti-A nem por soro anti-B. Dê os genótipos que explicam essa situação.

8. (Fuvest-SP) O casal Fernando e Isabel planeja ter um filho e ambos têm sangue do tipo A. A mãe de Isabel tem sangue do tipo O. O pai e a mãe de Fernando têm sangue do tipo A, mas um outro filho deles tem sangue do tipo O.
a) Com relação ao tipo sanguíneo, quais são os genótipos do pai e da mãe de Fernando?
b) Qual é a probabilidade de que uma criança gerada por Fernando e Isabel tenha sangue do tipo O?

9. (Unicamp-SP) Com base no heredograma abaixo:



a) Qual a probabilidade de o casal formado por 5 e 6 ter duas crianças com sangue AB, Rh^+?
b) Se o casal em questão já tiver uma criança com sangue AB Rh^+, qual a probabilidade de ter outra com os mesmos fenótipos sanguíneos?

Observação: Indique os passos que você seguiu para chegar às duas respostas.

10. (Udesc) Assinale a alternativa correta em relação ao tipo sanguíneo na seguinte situação: um casal tem três filhos, sendo que dois filhos possuem o tipo sanguíneo O, e um filho possui o tipo sanguíneo A.
X a) A mãe possui o tipo sanguíneo O, e o pai o tipo A heterozigoto.
b) A mãe possui o tipo sanguíneo A heterozigoto, e o pai o tipo O heterozigoto.
c) A mãe e o pai possuem o tipo sanguíneo AB.
d) A mãe possui o tipo sanguíneo O, e o pai o tipo sanguíneo A homozigoto.
e) A mãe possui o tipo sanguíneo O, e o pai o tipo sanguíneo AB homozigoto.

11. (Enem) Antes de técnicas modernas de determinação de paternidade por exame de DNA, o sistema de determinação sanguínea ABO foi amplamente utilizado como ferramenta para excluir possíveis pais. Embora restrito à análise fenotípica, era possível concluir a exclusão de genótipos também. Considere que uma mulher teve um filho cuja paternidade estava sendo contestada. A análise do sangue revelou que ela era tipo sanguíneo AB e o filho, tipo sanguíneo B.

O genótipo do homem, pelo sistema ABO, que exclui a possibilidade de paternidade desse filho é

X a) I^AI^A
b) I^Ai
c) I^BI^B
d) I^Bi
e) ii

12. (Unicamp-SP) O sangue humano costuma ser classificado em diversos grupos, sendo os sistemas ABO e Rh os métodos mais comuns de classificação. A primeira tabela abaixo fornece o percentual da população brasileira com cada combinação de tipo sanguíneo e fator Rh. Já a segunda tabela indica o tipo de aglutinogênio e de aglutinina presentes em cada grupo sanguíneo.

Tipo	Fator Rh	
	+	–
A	34%	8%
B	8%	2%
AB	2,5%	0,5%
O	36%	9%

Tipo	Aglutinogênios	Aglutininas
A	A	Anti-B
B	B	Anti-A
AB	A e B	Nenhuma
O	Nenhum	Anti-A e Anti-B

Em um teste sanguíneo realizado no Brasil, detectou-se, no sangue de um indivíduo, a presença de aglutinogênio A. Nesse caso, a probabilidade de que o indivíduo tenha sangue A^+ é de cerca de:

X a) 76%.
b) 34%.
c) 81%.
d) 39%.

13. (PUC-RS) Um sistema de alelos múltiplos governa a cor de determinada flor da seguinte maneira: F = laranja; f^1 = amarela, f^2 = branca. Considerando que a sequência de dominância segue o padrão $F > f^1 > f^2$, plantas com os genótipos FF, Ff^1 e Ff^2 teriam flores de cor:

X a) laranja, apenas.
b) laranja e amarela, apenas.
c) laranja e branca, apenas.
d) amarela e branca, apenas.
e) laranja, amarela e branca.

14. (Vunesp) Paulo e Mariana têm dois filhos, Júlio e Baltazar. Com relação aos tipos sanguíneos do sistema ABO, pai, mãe e os dois filhos têm, cada um deles, um tipo sanguíneo diferente.

Em razão disso, pode-se afirmar corretamente que:

X a) se o pai tem sangue tipo A, a mãe necessariamente tem sangue tipo B.
b) se a mãe tem sangue tipo AB, o pai necessariamente terá sangue tipo A ou tipo B.
c) se a mãe tem sangue tipo O, um dos filhos terá necessariamente sangue tipo AB.
d) se um dos filhos tem sangue tipo AB, o outro necessariamente terá sangue tipo A ou tipo B.
e) se um dos filhos tem sangue tipo O, o outro necessariamente terá sangue tipo A ou tipo B.

15. (Enem) Em um hospital havia cinco lotes de bolsas de sangue, rotulados com os códigos I, II, III, IV e V. Cada lote continha apenas um tipo sanguíneo não identificado. Uma funcionária do hospital resolveu fazer a identificação utilizando dois tipos de soro, anti-A e anti-B. Os resultados obtidos estão descritos no quadro.

Código dos lotes	Volume de sangue (L)	Soro anti-A	Soro anti-B
I	22	Não aglutinou	Aglutinou
II	25	Aglutinou	Não aglutinou
III	30	Aglutinou	Aglutinou
IV	15	Não aglutinou	Não aglutinou
V	33	Não aglutinou	Aglutinou

Quantos litros de sangue eram do grupo sanguíneo do tipo A?

a) 15
X b) 25
c) 30
d) 33
e) 55

16. (Ufscar-SP) A transfusão de sangue tipo AB para uma pessoa com sangue tipo B:

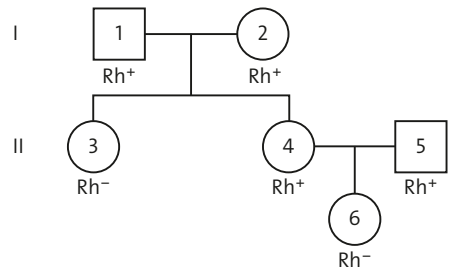
a) pode ser realizada sem problema, porque as hemácias AB não possuem antígenos que possam interagir com anticorpos anti-A presentes no sangue do receptor.
b) pode ser realizada sem problema, porque as hemácias AB não possuem antígenos que possam interagir com anticorpos anti-B presentes no sangue do receptor.
c) pode ser realizada sem problema, porque, apesar de as hemácias AB apresentarem antígeno A e antígeno B, o sangue do receptor não possui anticorpos contra eles.
d) não deve ser realizada, pois os anticorpos anti-B presentes no sangue do receptor podem reagir com os antígenos B presentes nas hemácias AB.
X e) não deve ser realizada, pois os anticorpos anti-A presentes no sangue do receptor podem reagir com os antígenos A presentes nas hemácias AB.

17. (UFPA) A eritroblastose fetal, ou doença hemolítica perinatal, consiste na destruição das hemácias do feto (Rh^+) pelos anticorpos da mãe (Rh^-) que ultrapassam lentamente a placenta. Devido a uma destruição maciça das hemácias, o indivíduo torna-se anêmico, e a hemoglobina presente no plasma é transformada, no fígado, em bilirrubina.

Em relação a essa condição, é correto afirmar:

a) A mãe (Rh^-) só produzirá anticorpos anti-Rh se tiver uma gestação de uma criança Rh^+ com passagem de hemácias para a circulação materna.
X b) A mãe (Rh^-) poderá produzir anticorpos anti-Rh devido a uma gestação de uma criança Rh^+ cujas hemácias passaram para a circulação materna, comumente, por ocasião do parto, ou se receber uma transfusão de sangue incompatível (Rh^+).
c) A mãe produzirá anticorpos anti-Rh que podem atingir todos os filhos Rh^+, incluindo o feto que primeiro induziu a produção desses anticorpos.
d) No caso de mulheres Rh^- que já tenham tido uma gestação anterior Rh^+ e estejam novamente grávidas, é ministrada uma dose da vacina Rhogam por volta da 28ª semana de gestação e outra até 72 horas após o parto, o que evita, assim, que essa criança, caso seja Rh^+, tenha eritroblastose fetal.
e) O tratamento de bebês que nascem com o problema pode incluir uma transfusão total de sangue. O bebê recebe sangue Rh^+, que já não terá mais suas hemácias destruídas pelos anticorpos da mãe presentes no recém-nascido.

18. (Ufla-MG) O sistema Rh em seres humanos é controlado por um gene com dois alelos, dos quais o alelo dominante R é responsável pela presença do fator Rh nas hemácias, e, portanto, fenótipo Rh^+. O alelo recessivo r é responsável pela ausência do fator Rh e fenótipo Rh^-.



Com base no heredograma acima, determine os genótipos dos indivíduos **1**, **2**, **3**, **4**, **5** e **6**, respectivamente.

a) RR, Rr, Rr, RR, Rr, RR
X b) Rr, Rr, rr, Rr, Rr, rr
c) Rr, Rr, Rr, rr, RR, Rr
d) Rr, Rr, rr, RR, Rr, rr

19. (UFSC) Ao final da gravidez, é comum haver pequenas rupturas placentárias que permitem a passagem de hemácias fetais para o sangue materno. A mãe, assim, pode ser sensibilizada e, dependendo de seu tipo sanguíneo e do tipo sanguíneo do feto em relação ao sistema Rh, gerar uma doença denominada eritroblastose fetal. Com relação ao fenômeno descrito e suas consequências, é correto afirmar que: 01 + 02 + 08 + 16 + 64 = 91

(01) a mãe tem que ser Rh negativo.
(02) o pai tem que ser Rh positivo.
(04) a criança é, obrigatoriamente, homozigota.
(08) a mãe é, obrigatoriamente, homozigota.
(16) o pai pode ser heterozigoto.
(32) a criança é Rh negativo.
(64) o pai pode ser homozigoto.

CAPÍTULO 4

Interação gênica e pleiotropia

Kirk Geisler/Shutterstock

Variedades de cores do pelo do cão labrador (54 cm a 57 cm de altura na linha do ombro).

As formas de herança que estudamos até agora ocorrem por determinação de um par de alelos. Mas existem características, como a altura, a cor dos olhos e a cor da pele humana, que resultam da interação de vários pares de alelos. Esse fenômeno é chamado interação gênica e ocorre também na definição da cor do pelo do cachorro labrador, que pode ser preta, dourada ou chocolate, como veremos a seguir.

- *Você já reparou quantas cores diferentes a íris do olho humano pode ter? E quantos tons de pele diferentes existem?*
- *Como os genes podem interagir entre si? Como isso influencia o fenótipo?*

1 Conceitos gerais

Quando dois ou mais pares de alelos atuam na determinação de uma mesma característica, o fenômeno é chamado **interação gênica**. Já na **pleiotropia** ocorre o inverso: um gene atua em várias características, como veremos adiante.

A compreensão da interação gênica deve muito aos trabalhos pioneiros dos geneticistas ingleses William Bateson (1861-1926) e Reginald Punnett (1875-1967), realizados no início do século XX.

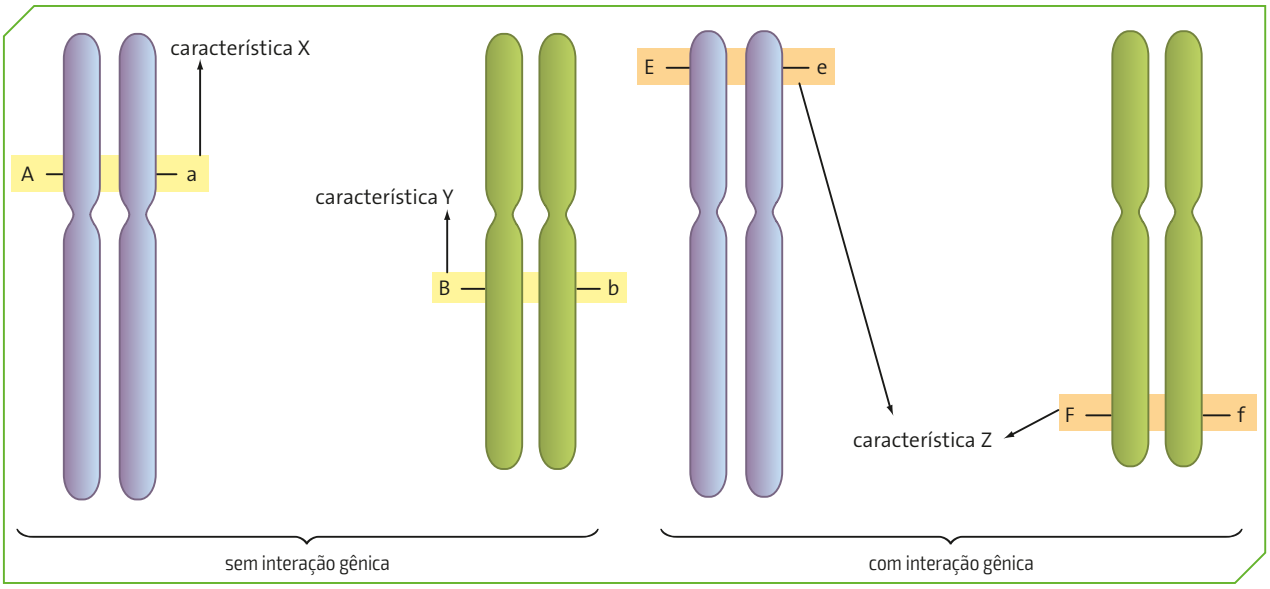
Bateson foi um grande divulgador e defensor dos trabalhos de Mendel na Inglaterra, realizando vários estudos sobre hibridação em plantas (produção de indivíduos heterozigóticos para um ou mais caracteres).

Em 1908, ao explicar os resultados de seus estudos sobre interação gênica, Bateson criou o termo "epistasia". Ele também criou os termos "homozigoto", "heterozigoto" e "alelomorfo" (abreviado depois para "alelo"). Bateson sugeriu ainda o termo "genética" para o estudo da hereditariedade.

Além de inventar o famoso esquema (quadrado de Punnett) que permite visualizar os possíveis resultados das fecundações (visto nos capítulos anteriores deste livro), Punnett publicou, em 1905, um dos primeiros livros que explicam a genética mendeliana para o público em geral, entre vários outros estudos.

Os genes em interação podem estar ou não no mesmo cromossomo. Vamos analisar aqui o caso mais simples, que é a interação de genes situados em cromossomos não homólogos (figura 4.1). Como estão em cromossomos diferentes, esses genes sofrem segregação independente.

Há vários tipos de interação gênica. Em alguns casos, um par de alelos inibe a manifestação de outros pares: são as **interações epistáticas** (do grego *epi* = sobre; *stásis* = parada). Nesse caso, no cruzamento de dois indivíduos duplo heterozigotos aparecem proporções fenotípicas como 9 : 3 : 4 ou 12 : 3 : 1 ou 9 : 7. Em outros, a proporção fenotípica que aparece nesse cruzamento lembra a do di-hibridismo: 9 : 3 : 3 : 1 – são as **interações não epistáticas**. No entanto, no di-hibridismo essa proporção se refere à combinação de duas características, enquanto na interação a proporção se refere a variedades de uma característica apenas, como veremos no caso das cristas de galinha.



Ilustrações: Maspi/Arquivo da editora

Figura 4.1 Os pares de alelos **Aa** e **Bb** atuam em características diferentes. Os pares **Ee** e **Ff** atuam na mesma característica, o que constitui uma interação gênica. (Esquema simplificado; cores fantasia.)

2 Interação não epistática

Entre os trabalhos de Bateson e Punnett estão os experimentos sobre a herança da forma da crista em algumas raças de galinha. Há quatro tipos básicos de crista: **noz**, **ervilha**, **rosa** e **simples**. Eles verificaram que o cruzamento entre galos e galinhas com crista rosa e com crista ervilha produziam outro tipo de crista, que eles chamaram de "noz". Perceberam então que não havia dominância entre a crista rosa e a crista ervilha.

No entanto, ao cruzarem as aves que apresentavam essa nova crista, obtiveram quatro tipos de crista, na proporção 9 noz : 3 ervilha : 3 rosa : 1 simples. Este resultado, que lembra a $\mathbf{F_2}$ no di-hibridismo, sugeria que essa característica era condicionada por dois pares de alelos com segregação independente. Contudo, a proporção se refere a apenas uma característica, a forma da crista; enquanto no di-hibridismo há duas características combinadas (cor e forma da ervilha, por exemplo).

Por meio de sucessivos cruzamentos entre as diversas variedades, elaboraram o modelo de interação para a forma da crista em galinhas, que veremos a seguir.

Os quatro tipos de crista dependem de dois pares de alelos. A presença do alelo **E** (dominante) condiciona crista ervilha, enquanto a do alelo **R** (dominante) condiciona crista rosa. Se os dois alelos dominantes estão presentes, há interação gênica e a crista é do tipo noz. A ausência de ambos condiciona crista simples.

Veja no quadro a seguir os fenótipos e os genótipos possíveis para a forma da crista:

Fenótipos (forma da crista)	noz	ervilha	rosa	simples
Genótipos	E_R_	E_rr	eeR_	eerr

O traço que aparece em alguns genótipos indica que o alelo presente pode ser dominante ou recessivo e não interfere no fenótipo resultante. Na figura 4.2, podemos observar o resultado do cruzamento parental.

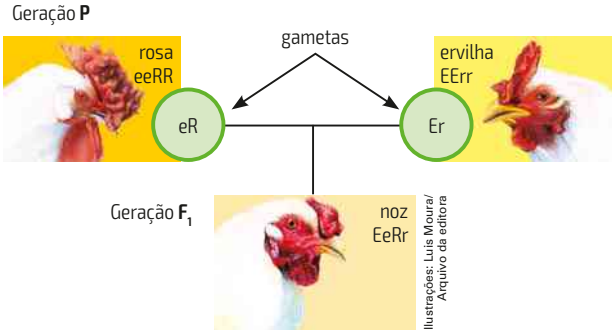


Figura 4.2 Cruzamento da geração **P** formando di-híbridos na geração $\mathbf{F_1}$. (Comprimento do animal adulto: entre 25 cm e 40 cm, aproximadamente.)

Observe a proporção fenotípica esperada em $\mathbf{F_2}$ (figura 4.3):

Geração $\mathbf{F_2}$ (cruzamento entre as aves duplo heterozigotas de $\mathbf{F_1}$)

♀ \ ♂	ER	eR	Er	er
ER	EERR	EeRR	EERr	EeRr
eR	EeRR	eeRR	EeRr	eeRr
Er	EERr	EeRr	EErr	Eerr
er	EeRr	eeRr	Eerr	eerr

Proporção fenotípica em $\mathbf{F_2}$:
9 noz (E_R_) : 3 ervilha (E_rr) :
3 rosa (eeR_) : 1 simples (eerr).

Figura 4.3 Interação gênica no formato de cristas de galinhas.

Em F_2 a proporção de 9 : 3 : 3 : 1 pode ser obtida de forma simples:

- são nove indivíduos com pelo menos um alelo dominante de cada par de alelos; esses indivíduos podem ser representados por E_R_;
- o número 3 indica indivíduos com apenas um alelo dominante de um dos dois pares de alelos: E_rr ou eeR_;
- o número 1 indica indivíduos sem alelos dominantes (eerr).

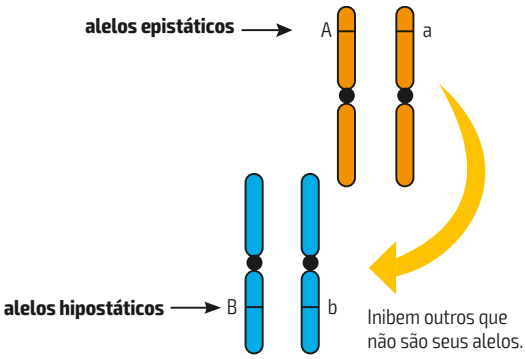
Com isso, deduzimos os fenótipos: E_R_: 9 com crista noz; E_rr: 3 com crista ervilha; eeR_: 3 com crista rosa; eerr: 1 com crista simples.

Observe que, quando **E** e **R** estão presentes, o fenótipo produzido é diferente do fenótipo obtido quando só **E** ou só **R** está presente. Esse tipo de interação é chamado **não epistática** (é chamado também **interação simples** ou **herança complementar**).

3 Interações epistáticas

A **epistasia** é um tipo de interação gênica na qual os alelos de um gene impedem a manifestação dos alelos de outro par, como mostra a figura 4.4 abaixo.

Os alelos inibidores são chamados **epistáticos** e os inibidos, **hipostáticos** (do grego *epi* = sobre; *hipo* = abaixo; *stásis* = parada).



Maspi/Arquivo da editora

Figura 4.4 Esquema da atuação de alelos epistáticos.

Epistasia recessiva

Neste caso, os alelos epistáticos têm ação apenas quando estão em dose dupla, como veremos nos exemplos a seguir.

A cor do pelo de camundongos é influenciada por vários pares de alelos. De forma simplificada, o alelo dominante **A** fornece o padrão aguti, no qual o pelo é preto com uma faixa amarela, o que dá uma tonalidade marrom-acinzentada. O alelo **a** determina pelo preto uniforme. A presença de um alelo de outro gene, **C**, é condição indispensável para que se forme qualquer pigmento. Em dose dupla, o alelo **c** é epistático sobre **A** e **a**, e forma-se pelo albino. Assim, os animais aacc e A_cc são albinos.

Com essas informações, podemos montar um quadro com os fenótipos e os genótipos possíveis:

Fenótipos (pelagem em camundongos)	Genótipos
aguti	A_C_
preto	aaC_
albino	A_cc ou aacc

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Cruzando dois indivíduos homozigotos, obtém-se em F_1 apenas indivíduos duplo heterozigotos (figura 4.5).

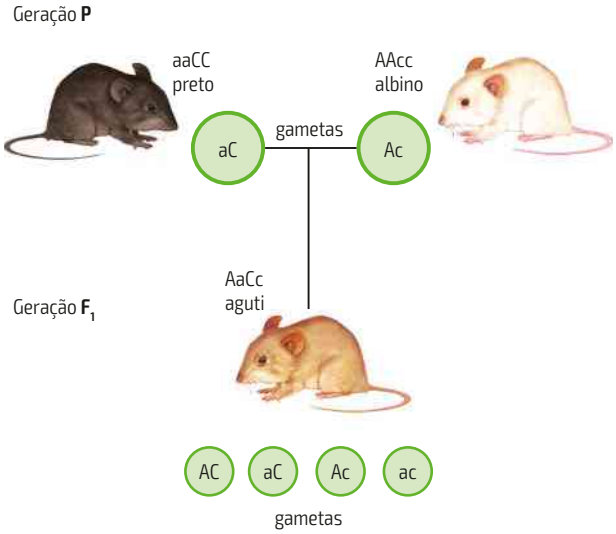


Figura 4.5 Cruzamento de camundongos pretos (aaCC) com camundongos albinos (AAcc), gerando camundongos aguti (AaCc). (Camundongos medem entre 6 cm e 9 cm, fora a cauda.)

A geração F_2, resultado do cruzamento entre os duplo heterozigotos de F_1, está demonstrada na figura 4.6.

F_2 ♂ / ♀	AC	aC	Ac	ac
AC	AACC	AaCC	AACc	AaCc
aC	AaCC	aaCC	AaCc	aaCc
Ac	AACc	AaCc	AAcc	Aacc
ac	AaCc	aaCc	Aacc	aacc

Proporção em F_2: 9 agutis (A_C_) : 3 pretos (aaC_) : 4 albinos (A_cc e aacc)

Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 4.6 Epistasia recessiva na cor de camundongos.

A epistasia ocorre quando dois ou mais pares de alelos diferentes influenciam a produção de enzimas que atuam em diferentes etapas de uma sequência de reações químicas, em que uma substância inicial é transformada em outras até originar um produto responsável (em interação com o ambiente) por uma característica. Analise o exemplo dos esquemas a seguir.

alelo **C** → enzima ativa → substância **X** → substância **Y** → pelo aguti

alelo **A** → enzima ativa → substância **Y** → pelo aguti

alelo **C** → enzima ativa → substância **X** → substância **Y** → pelo preto

alelos **aa** → enzima inativa → ✗ substância **Y** → pelo preto

alelos **cc** → enzima inativa → ✗ substância **X** → albino

Nas interações não epistáticas, os genes atuam em diferentes sequências de reações, e os produtos de cada sequência podem interagir e originar diferentes fenótipos.

Outro exemplo de epistasia recessiva é a cor do pelo do cão labrador (figura 4.7), que pode ser preta, dourada (varia de creme-claro a vermelho-raposa) e chocolate (varia de cor de fígado a chocolate-escuro). Neste caso, há interação entre dois pares de alelos: o alelo **B** é responsável pela cor preta, e o alelo **b**, recessivo, pela cor chocolate. O alelo **E** é essencial para o depósito de pigmento preto ou marrom (que dá o tipo chocolate) no pelo; o alelo recessivo **e** impede esse depósito, o que origina o pelo dourado.

O cruzamento entre dois duplo heterozigotos (pelo preto) dá origem à proporção 9 (pretos) : 3 (chocolate) : 4 (dourados).

Shutterstock/Glow Images

Figura 4.7 A cor do pelo dos cães labradores é um exemplo de epistasia recessiva.

Epistasia dominante

A epistasia dominante ocorre quando a presença de apenas um alelo dominante já é suficiente para impedir o efeito de um alelo de outro gene.

Um exemplo de epistasia dominante é o que acontece com a cor das penas em certas raças de galinhas (figura 4.8). Um alelo epistático **I** inibe a manifestação de um alelo de outro par, situado em outro cromossomo, o alelo **C**, responsável pela produção da cor. O alelo **i** não tem efeito inibitório e o alelo **c** não produz a cor.

Com essas informações podemos montar um quadro com os fenótipos e os genótipos possíveis:

Fenótipos (cor das penas em galinhas)	Genótipos
Coloridas	C_ii
Brancas	C_I_ ccI_ ccii

Observe nos quadros a seguir o resultado do cruzamento entre um galo da variedade Leghorn, de cor branca (por causa da presença do alelo **I**), com uma galinha da variedade Wyandotte, de cor branca (por causa da falta do alelo **C**). A proporção fenotípica de F_2 é de 13/16 brancas para 3/16 coloridas.

P	branca (Leghorn) CCII		branca (Wyandotte) ccii
F_1	branca CcIi	×	branca CcIi

F_2	♀ \ ♂	CI	cI	Ci	ci
	CI	branca CCII	branca CcII	branca CCIi	branca CcIi
	cI	branca CcII	branca ccII	branca CcIi	branca ccIi
	Ci	branca CCIi	branca CcIi	cor CCii	cor Ccii
	ci	branca CcIi	branca ccIi	cor Ccii	branca ccii

pelo processo simplificado			
9 C_I_ :	3 ccI_ :	3 C_ii :	1 ccii
↓ branca	↓ branca	↓ cor	↓ branca
PF: 13 brancas : 3 coloridas			

Fotos: Robert Dowling/Corbis/Latinstock

Figura 4.8 A cor das penas nessas raças de galinha é um exemplo de epistasia dominante. (Comprimento do animal adulto: entre 25 cm e 40 cm, aproximadamente.)

Biologia e cotidiano

A cor dos olhos na espécie humana

O mesmo pigmento marrom (melanina) que dá cor à pele é encontrado em duas camadas da íris: uma mais superficial; outra mais profunda. Os olhos escuros possuem maior quantidade de melanina na camada mais superficial. Nos olhos claros, essa quantidade é bem menor.

A cor da íris é resultado de uma interação de pelo menos 16 genes, em um processo que ainda não foi completamente decifrado. A interação acontece porque a produção de melanina envolve uma série de transformações reguladas por várias enzimas.

Fontes de pesquisa: STURM, R. A.; LARSSON, M. Genetics of Human Iris Colour and Patterns. *Pigment & Cell Melanoma Research*, 22, p. 544-562, 2009. WHITE, D.; RABAGO-SMITH, M. Genotype-phenotype Associations and Human Eye Color. *Journal of Human Genetics*, 56, p. 5-7, 2011.

4 Herança quantitativa

Nesse caso de interação gênica, dois ou mais pares de alelos somam ou acumulam seus efeitos, o que permite uma série de fenótipos gradativamente diferentes entre si. Por isso é chamada **herança quantitativa**, **multifatorial**, **cumulativa** ou **poligênica**, podendo ainda ser chamada **poligenia** ou **polimeria** (do grego *polys* = muitos; *meros* = parte). Além disso, essas características sofrem, em geral, grande ação de fatores do ambiente, o que aumenta ainda mais a variação fenotípica. Isso significa que, enquanto nas características estudadas por Mendel havia uma variação descontínua, aqui a variação é contínua. Vejamos alguns exemplos.

Muitas características no ser humano, nos animais e nos vegetais resultam de herança poligênica e apresentam variação contínua; por exemplo, cor da semente do trigo, tamanho dos ovos de galinhas, volume do leite produzido por vacas, cor da pele, altura (figura 4.9) e peso na espécie humana. As características extremas aparecem em frequências menores e as características intermediárias, em frequências maiores.

O primeiro modelo para explicar as diferenças na cor da pele da espécie humana, que hoje sabemos ser falso, partia da hipótese de que ela seria resultante da ação de dois pares de alelos com efeitos cumulativos.

Os alelos representados por letras maiúsculas condicionam maior produção de melanina que os alelos representados pelas letras minúsculas. Quanto maior o número de alelos com letras maiúsculas, mais escura é a pele. Por isso esses alelos são chamados **efetivos** ou **aditivos**.

Segundo esse primeiro modelo simplificado, o indivíduo AABB tem a quantidade máxima de melanina e sua pele teria a cor denominada preta; o indivíduo aabb tem a quantidade mínima de melanina e sua pele teria a cor denominada branca. Os alelos **a** e **b** contribuem apenas para formar uma quantidade mínima da substância; eles não são aditivos (a ausência total de melanina é condicionada por uma mutação em outro gene independentemente dos genes em questão). Os indivíduos AaBb, AAbb e aaBB têm a mesma quantidade de pigmento e sua pele teria a cor denominada parda. Os indivíduos aaBb e Aabb só têm uma dose do pigmento e a cor de sua pele seria um pouco mais clara que a parda; os indivíduos AABb e AaBB têm três doses e a cor de sua pele seria um pouco mais escura que a parda.

Na figura 4.10 estão os genótipos resultantes das possíveis fecundações entre os gametas produzidos por dois indivíduos heterozigotos.

F_2 ♂ / ♀	**AB**	**Ab**	**aB**	**ab**
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Figura 4.10 Um modelo simplificado para a herança da cor da pele. Se essa herança fosse condicionada por dois pares de alelos, haveria cinco classes fenotípicas (sem considerar a influência ambiental).

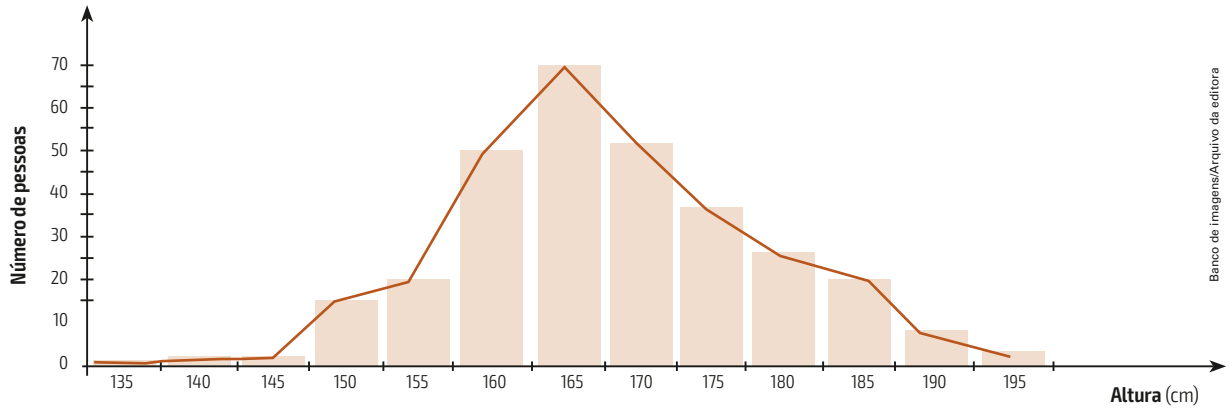


Figura 4.9 Gráfico com a distribuição de altura em um grupo de indivíduos.

Na realidade, observamos nas tonalidades de pele uma variação maior que essa, em parte por causa da maior ou menor quantidade de sol a que uma pessoa se expõe. Além disso, dezenas de genes que atuam na série de etapas envolvendo a produção de melanina foram identificados. E cada um desses genes possui vários alelos. Portanto, o modelo de dois pares de alelos não é verdadeiro. Se houvesse, por exemplo, apenas três pares de alelos, a proporção fenotípica em F_2 seria de 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1. Nessa proporção, há dois fenótipos intermediários (em vez de um) entre os fenótipos pele de cor preta e pele de cor parda e entre os fenótipos pele de cor branca e pele de cor parda.

Uma proporção de 1/16 de filhos com um dos fenótipos extremos (pele de cor preta ou de cor branca) indica que estão envolvidos dois pares de alelos. Se essa proporção for de 1/64, estão em jogo três pares.

Biologia e sociedade

Herança africana no Brasil

Por volta do ano 1525, diferentes povos da África foram trazidos ao Brasil em navios para serem usados como escravizados pelos europeus. Essas pessoas foram obrigadas a trabalhar em engenhos de cana-de-açúcar, em minas para encontrar pedras preciosas e em outros tipos de trabalho, sempre em condições péssimas, sofrendo maus-tratos e sem nenhum tipo de remuneração.

O que os escravizadores não previram foi o tamanho da contribuição que os povos de origem africana trariam para a cultura brasileira em construção.

A sociedade brasileira foi fortemente influenciada pelos costumes africanos na culinária, na música (figura 4.11), nos esportes e na ciência.

Ricardo Beliel/Brazil Photos/LightRocket/Getty Images

Figura 4.11 Pedra do Sal, local conhecido como o berço do samba, no Rio de Janeiro. Nessa região, alguns grupos de escravizados libertos passaram a viver depois da abolição da escravatura. Na foto, alguns músicos que se apresentam no local atualmente.

Uma característica que herdamos da culinária de diferentes povos da África são os ingredientes. Na falta de pimenta, por exemplo, os povos escravizados no Brasil recorriam ao azeite de dendê. Produzido a partir do fruto da palmeira denominada dendezeiro (**figura 4.12**), o dendê é um dos tipos de óleo mais consumidos no mundo, junto com os de soja e canola. O azeite de dendê é servido em pratos como acarajé, vatapá, bobó de camarão e caruru.

A cultura dos povos africanos no Brasil também é marcante no esporte e nas danças. Um de seus maiores legados é a capoeira (**figura 4.13**), que mistura arte marcial, esporte e música. A capoeira desenvolve habilidades de dança, força e elasticidade. Como toda atividade física, essa modalidade ajuda a exercitar o sistema cardiovascular, o equilíbrio, a musculatura e a coordenação motora.

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Mark Hannaford/Getty Images

Figura 4.12 Centenas de palmeiras de dendê (dendezeiros). Seu fruto (no detalhe) é extraído para ser transformado em azeite, que pode substituir a pimenta na preparação de alimentos. Legado afro-brasileiro, o azeite de dendê é um dos mais consumidos no mundo.

Huw Jones/Getty Images

Wolfgang Kaehler/LightRocket/Getty Images

Figura 4.13 Jovens praticam capoeira. Misturando artes marciais e música, a capoeira vem ganhando cada vez mais adeptos de diferentes origens sociais. No detalhe, rapaz toca o berimbau, um dos instrumentos que fazem parte da roda de capoeira.

Praticada inicialmente pelos escravos africanos, a modalidade mistura chutes, rasteiras, joelhadas, entre outros movimentos, além de acrobacias no ar e no solo. No tempo da escravatura, a prática da capoeira foi considerada um símbolo de rebeldia e resistência. Mesmo após a abolição, os capoeiristas continuaram sendo reprimidos por duras leis. O código penal de 1890, criado durante o governo do Marechal Deodoro da Fonseca, proibia a prática da capoeira em todo o território nacional.

A aceitação da modalidade pela sociedade levou muitos anos. Mas, em 2014, a roda de capoeira foi reconhecida como Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). Outras manifestações culturais brasileiras que já foram consagradas são o samba de roda do Recôncavo Baiano (BA), o frevo (PE) e o círio de Nazaré (PA).

A escravização dos negros, mesmo após o seu término, deixou consequências muito negativas para a sociedade como um todo: preconceitos de cor, marginalização, diferenças sociais, etc. Mesmo assim, algumas pessoas conseguiram se destacar em áreas tradicionalmente mais fechadas, como a ciência. Um exemplo é o físico brasileiro Eunézio Thoroh de Souza (**figura 4.14**), natural de Bom Jesus do Galho, MG. Ele lidera uma pesquisa sobre o grafeno – uma forma super-resistente do carbono –, que tem diversas aplicações, desde materiais esportivos até preservativos.

Nascida em Salvador, Viviane dos Santos Barbosa (**figura 4.14**) é mais uma cientista negra que teve destaque no Brasil. Mestre em Engenharia Química pelo departamento de nanotecnologia da Universidade Técnica de Delft, na Holanda, Viviane desenvolveu catalisadores eficientes. Enquanto os catalisadores tradicionais funcionam apenas em altas temperaturas, a pesquisadora conseguiu desenvolver produtos que funcionam em temperatura ambiente e reduzem a emissão de gases tóxicos.

Acervo pessoal de Viviane Barbosa/Arquivo da editora

Viviane dos Santos Barbosa, cientista brasileira que reside e trabalha na Holanda. Foto de 2016.

Luisa Massarani

O físico Eunézio Thoroh de Souza, coordenador de uma pesquisa sobre grafenos.

Figura 4.14 Dois renomados cientistas brasileiros.

Fontes de pesquisa: <www.faecpr.edu.br/site/portal_afro_brasileira/3_III.php>, <http://revistaescola.abril.com.br/consciencia-negra/africa-brasil/cultura-afro-brasileira.shtml>, <www.museuafrobrasil.org.br/>, <www.brasil.gov.br/cultura/2009/10/cultura-afro-brasileira-se-manifesta-na-musica-religiao-e-culinaria>. Acesso em: 27 jan. 2015.

Cálculos de genótipos e fenótipos na herança quantitativa

Com base no número de pares de alelos, é possível calcular o número de classes genotípicas e fenotípicas (e vice-versa) resultantes da união de dois indivíduos heterozigóticos para todos os genes envolvidos.

Quando uma característica é condicionada por dois pares de alelos, são formados cinco tipos distintos de fenótipos. Se forem três pares de alelos, teremos sete tipos de fenótipos. Generalizando, o número de fenótipos possíveis será o número total de alelos mais 1. Com essa relação também podemos calcular o número total de alelos se soubermos o número de classes fenotípicas (fenótipos diferentes). Se aparecerem sete fenótipos, teremos $n + 1 = 7$, ou seja, $n = 6$, havendo, portanto, três pares de alelos envolvidos nessa herança.

Para calcular o número de classes genotípicas (genótipos diferentes), usamos a fórmula: 3^n, em que **n** é o número de pares de alelos.

Se soubermos a proporção de um dos fenótipos extremos, podemos calcular o número de pares de alelos pela fórmula: proporção do fenótipo extremo $= 1/4^n$ (em que **n** é o número de pares de alelos). Por exemplo, se na $\mathbf{F_2}$ o número de indivíduos com tonalidade máxima (ou mínima) de pele for 1/16, teremos $1/4^2$; portanto, $n = 2$, indicando que há dois pares de alelos. Caso o número seja 1/64, a fórmula é $1/4^3$ e estão em jogo três pares de alelos. Para 1/256, estão em jogo quatro pares de alelos: $1/4^4$.

Exercício resolvido

Em certa espécie de milho, a altura do pé varia de 90 cm a 210 cm, com intervalos de 20 cm em 20 cm entre cada altura. Responda:

a) Quantos alelos estão envolvidos na altura do milho?

b) Quais são os genótipos possíveis de uma planta com 110 cm de altura?

Resolução

a) Para calcular o número de alelos envolvidos, precisamos achar o número total de fenótipos. Como estes variam de 20 cm em 20 cm, podemos construir a série: 90, 110 (90 + 20), 130, 150, 170, 190, 210. Portanto, são sete fenótipos possíveis e podemos concluir que há seis (7 − 1) alelos envolvidos.

b) A contribuição de cada alelo efetivo é de 20 cm, visto que o exercício informa que a variação de altura do pé de milho se dá de 20 cm em 20 cm. Portanto, a planta com 110 cm terá apenas um alelo efetivo (90 cm + 20 cm) e os genótipos possíveis serão Aabbcc, aaBbcc ou aabbCc.

5 Pleiotropia

Em muitos casos, um único gene tem efeito sobre várias características do organismo simultaneamente. Esse gene é denominado pleiotrópico; o fenômeno decorrente de sua ação é chamado de **efeito pleiotrópico**, **pleiotropismo** ou **pleiotropia** (do grego *pleîon* = mais; *tropé* = mudança de direção). Convém notar que esse efeito é contrário ao da interação gênica, em que dois ou mais pares de genes influenciam o mesmo tipo de característica.

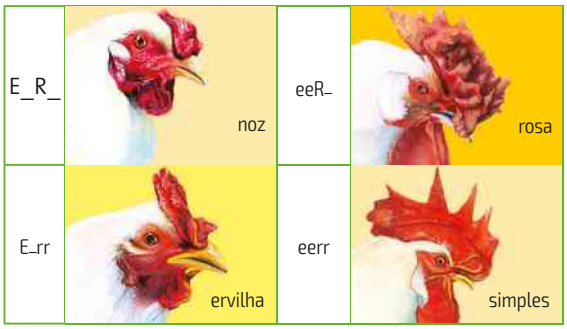
Em termos moleculares, o gene fabrica apenas uma enzima, mas a presença ou a ausência dessa enzima tem várias consequências no organismo.

Um exemplo de pleiotropia é a síndrome de Marfan. Uma mutação no gene FBN1 (fibrilina 1) origina um alelo que produz fibras elásticas anormais do tecido conjuntivo, uma vez que o gene atua na síntese de uma proteína dessas fibras, a fibrilina. Como o tecido conjuntivo está distribuído por várias partes do corpo, a pessoa tem problemas nos vasos sanguíneos, nos ossos e nos olhos, entre outros órgãos. O nome da síndrome deve-se ao pediatra francês Antoine Marfan (1858-1942), que primeiro descreveu a doença em 1896.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Em galinhas, a presença do alelo dominante **E** determina crista ervilha e a presença do alelo **R** dominante de outro gene determina crista rosa. Se ambos os alelos dominantes estiverem presentes, a crista é do tipo noz. A ausência de ambos os alelos dominantes determina crista simples. Qual é a proporção genotípica e a fenotípica resultante do cruzamento de EERr com Eerr?



Luis Moura/Arquivo da editora

2. No cão labrador, o alelo dominante **B** é responsável pela cor preta; o alelo **b**, recessivo, pela cor chocolate; o alelo recessivo **e** impede o depósito de pigmento, originando pelo dourado. Um cruzamento entre dois cães da raça labrador, um de pelo preto e outro chocolate, pode originar filhotes dourados? Justifique sua resposta.

3. Supondo que a cor da pele humana seja determinada por três pares de genes de efeitos cumulativos, situados em cromossomos diferentes, quantas classes diferentes de pigmentação poderiam ser identificadas?

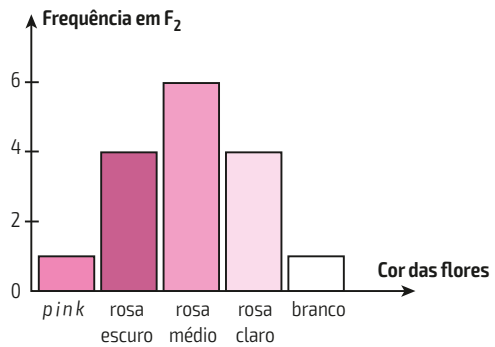
4. O cruzamento de duas plantas heterozigotas, cuja altura era 1,70 m, produziu descendentes com altura variando de 0,90 m a 2,50 m. Entre os 1 280 descendentes obtidos, cinco tinham 2,50 m de altura. Supondo que as condições ambientais eram idênticas para todos os descendentes, determine quantos pares de genes estão envolvidos na definição da altura da planta e qual é a contribuição de cada alelo efetivo.

5. Galinhas com o alelo dominante **C** têm penas coloridas, a não ser que esteja presente o alelo dominante I de outro gene, que inibe **C** e produz cor branca. O alelo recessivo **i** não tem efeito inibidor, e o genótipo cc origina cor branca. Qual é o resultado do cruzamento de duas aves duplamente heterozigotas?

6. Uma forma de surdez hereditária é condicionada por dois pares de alelos. Para que haja surdez, basta a ausência de um dos alelos dominantes (**D** e **E**) de cada gene. Qual é a proporção genotípica e a fenotípica obtida na união de um casal com genótipo DdEe e ddee?

7. (Unicamp-SP) Certas características fenotípicas são determinadas por poucos genes (herança mendeliana), enquanto outras são determinadas por muitos genes (herança poligênica). Qual dos dois mecanismos explica a maior parte das variações fenotípicas nas populações? Justifique.

8. (Unicamp-SP) Um pesquisador cruzou paineiras de flores *pink* com paineiras de flores brancas. Os descendentes (**F_1**) foram cruzados entre si, produzindo sempre as seguintes frequências fenotípicas na geração **F_2:**



Banco de imagens/Arquivo da editora

a) Qual o tipo de herança da cor da flor da paineira?
b) Indique as possibilidades de se obterem em um cruzamento: I. apenas flores de cor branca; II. apenas flores de cor rosa médio.

9. (UFU-MG) Em uma determinada raça de cão há três possibilidades de cores de pelo: preta, amarela e marrom. O alelo **M** é responsável pela cor preta, e seu alelo recessivo, pela cor marrom. O gene **E**, não alélico de **M**, condiciona o depósito de pigmento preto ou marrom no pelo. Já o alelo recessivo (e) impede esse depósito, originando o pelo amarelo.

No cruzamento entre dois cães dessa raça, um de pelo preto heterozigoto para os dois pares de genes e outro marrom descendente de uma mãe amarela, espera-se na descendência uma proporção fenotípica de:

a) 6 pretos: 2 amarelos.
X b) 3 pretos: 3 marrons: 2 amarelos.
c) 3 pretos: 5 marrons.
d) 4 pretos: 3 marrons: 1 amarelo.

10. (UFPE) Na espécie humana há um gene que exerce ação simultaneamente sobre a fragilidade óssea, a surdez congênita e a esclerótica azulada. Assinale a alternativa que define o caso.

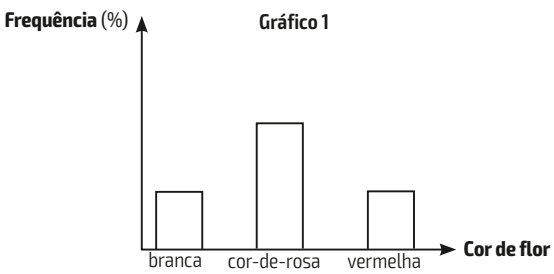
a) ligação genética
b) penetrância completa
X c) pleiotropia
d) herança quantitativa
e) polialelia

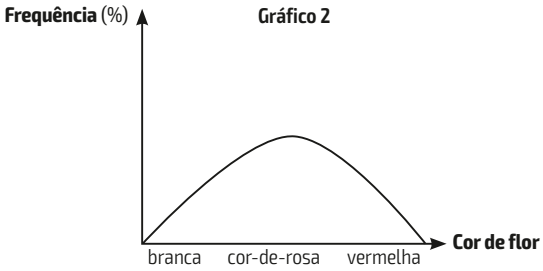
11. (UFRGS-RS) Na cebola, a presença de um alelo dominante **C** determina a produção de bulbo pigmentado; em cebolas cc, a enzima que catalisa a formação de pigmento não é produzida (cebolas brancas). Outro gene, herdado de forma independente, apresenta o alelo **B**, que impede a manifestação de gene **C**. Homozigotos bb não têm a manifestação da cor do bulbo impedida.

Quais as proporções fenotípicas esperadas do cruzamento de cebolas homozigotas coloridas com BBcc?

a) 9/16 de cebolas brancas e 7/16 de cebolas coloridas.
b) 12/16 de cebolas brancas e 4/16 de cebolas coloridas.
c) 13/16 de cebolas brancas e 3/16 de cebolas coloridas.
d) 15/16 de cebolas brancas e 1/16 de cebolas coloridas.
X e) 16/16 de cebolas brancas.

12. (Unifesp) Os gráficos I e II representam a frequência de plantas com flores de diferentes cores em uma plantação de cravos (I) e rosas (II).





Banco de imagens/Arquivo da editora

Os padrões de distribuição fenotípica são devidos a:

a) I: 1 gene com dominância;
II: 1 gene com dominância incompleta.
X b) I: 1 gene com dominância incompleta;
II: vários genes com interação.
c) I: 1 gene com dominância incompleta;
II: 1 gene com alelos múltiplos.
d) I: 3 genes com dominância incompleta;
II: vários genes com interação.
e) I: 2 genes com interação;
II: 2 genes com dominância incompleta.

13. (PUC-RS) A variabilidade da cor do olho em humanos é regulada por múltiplos genes. Hipoteticamente, pode-se aceitar que alelos funcionais A, B, C, D são responsáveis pela produção de muito pigmento (visto nos olhos negros), e alelos não funcionais a, b, c, d sintetizam pouco (típico de olhos azuis). Conhece-se ainda uma variação patológica (alelo e) que, quando em homozigose, causa o albinismo, isto é, a ausência completa de pigmento (olhos avermelhados).

Qual a chance de um casal ter filhos com coloração normal nos olhos no caso de ambos serem AaBbCcDdEe?

a) 0%
b) 25%
c) 50%
X d) 75%
e) 100%

14. (UFG-GO) Leia as informações a seguir.

Em uma dada espécie de abóbora, a interação de dois pares de alelos condiciona a variação fenotípica dos frutos. Frutos na forma discoide são resultantes da presença de dois alelos dominantes. A forma esférica deve-se à presença de apenas um dos dois alelos dominantes. Já a forma alongada é determinada pela interação dos dois alelos recessivos.

De acordo com as informações, o cruzamento entre uma abóbora esférica duplo homozigota com uma abóbora alongada resulta, na linhagem F_1, em uma proporção fenotípica de:

a) 6/16 alongada.
b) 8/16 esférica.
c) 9/16 discoide.
d) 16/16 alongada.
X e) 16/16 esférica.

CAPÍTULO 5

Ligação gênica

SPL/Latinstock

Drosófila (cerca de 3 mm de comprimento), mosca usada pelo geneticista Thomas Morgan para descrever modelos de herança de ligação gênica.

Depois dos experimentos de Mendel, muitas equipes de cientistas estudaram a genética por meio de diversos organismos diferentes. Thomas Morgan e sua equipe, por exemplo, fizeram inúmeros cruzamentos envolvendo as drosófilas e puderam observar um grande número de mutações, abrangendo diversos tipos de características. Por meio da análise dos resultados desses cruzamentos eles perceberam que existem situações em que duas características distintas podem ser condicionadas por genes situados no mesmo cromossomo. Neste caso, dizemos que esses genes estão ligados ou que há uma ligação gênica.

- *Como é possível prever a herança de genes situados em um mesmo cromossomo?*
- *Como o fenômeno da permutação, que pode ocorrer na meiose, pode afetar a distribuição desses genes nos gametas?*

1 Ligação gênica e permutação

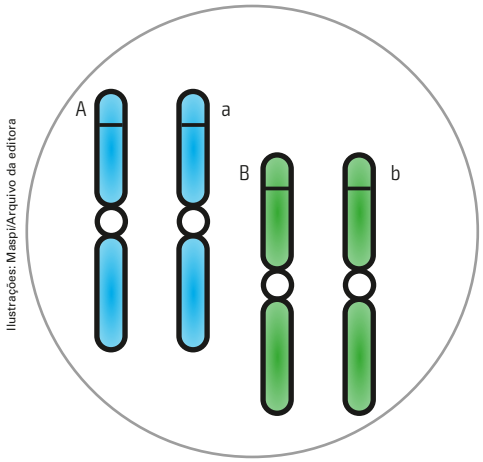
Em 1908, os cientistas Bateson e Punnett, ao estudarem cruzamentos entre ervilhas-de-cheiro, observaram uma discrepância em relação às leis de Mendel. Cruzando ervilhas-de-cheiro puras de flor púrpura e pólen oval (PPLL) com as de flor vermelha e pólen esférico (caracteres recessivos – ppll), eles obtiveram na geração F_1 o resultado esperado: 100% de flores púrpura e pólen oval. Mas a F_2 apresentou um resultado muito diferente do di-hibridismo mendeliano (9 : 3 : 3 : 1), como mostra a tabela abaixo:

	Número observado	Número esperado no di-hibridismo
Púrpura oval	248	215
Púrpura esférico	21	71
Vermelha oval	21	71
Vermelha esférico	55	24

Bateson e Punnett estranharam o baixo número obtido das classes de recombinação (púrpura esférico e vermelha oval). Supuseram que os gametas **PL** e **pl** estariam em maior quantidade por causa de um "acoplamento" entre os genes dominantes **P** e **L** e os genes recessivos **p** e **l**. Mas não souberam explicar o fenômeno.

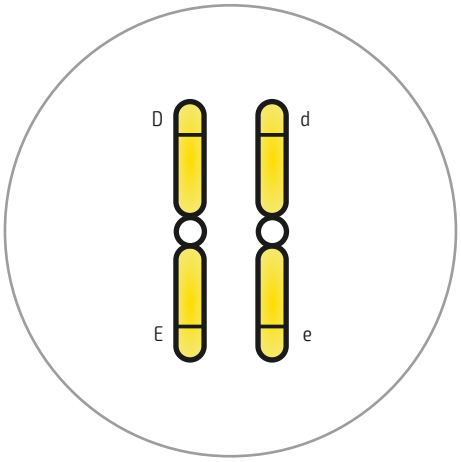
Somente com o estudo da herança em drosófilas, realizado pelo geneticista estadunidense Thomas Morgan (1866-1945) e colaboradores, incluindo seus alunos, foi possível explicar esse resultado: os genes responsáveis por essas características estão no mesmo cromossomo. Então, vejamos o que significa "estar no mesmo cromossomo".

Como um cromossomo apresenta vários genes, existem situações em que duas características analisadas são condicionadas por genes situados no mesmo cromossomo. Dizemos que esses genes estão ligados; o fenômeno é chamado **ligação gênica**, ou **ligamento** (ou **ligação**) **fatorial**. Em língua inglesa, essa situação é chamada ***linkage*** (ligação, em inglês). Veja a figura 5.1.



Ilustrações: Maspi/Arquivo da editora

Segunda lei de Mendel ou **segregação independente**: dois pares de alelos (**A** e **a**, **B** e **b**) situados em pares de cromossomos diferentes.



Ligação gênica: dois pares de alelos (**D** e **d**, **E** e **e**) localizados em um mesmo par de cromossomos homólogos.

Figura 5.1 Representações da segunda lei de Mendel e da ligação gênica (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia).

Quando os pares de alelos estão situados em cromossomos homólogos distintos, um indivíduo di-híbrido produz quatro gametas diferentes na mesma proporção, mas, quando os dois pares de alelos de genes diferentes estiverem situados no mesmo cromossomo, o híbrido deve produzir, se não ocorrer permutação entre eles, apenas dois tipos de gametas. Quando isso acontece, dizemos que há uma **ligação completa** entre esses genes (figura 5.2).

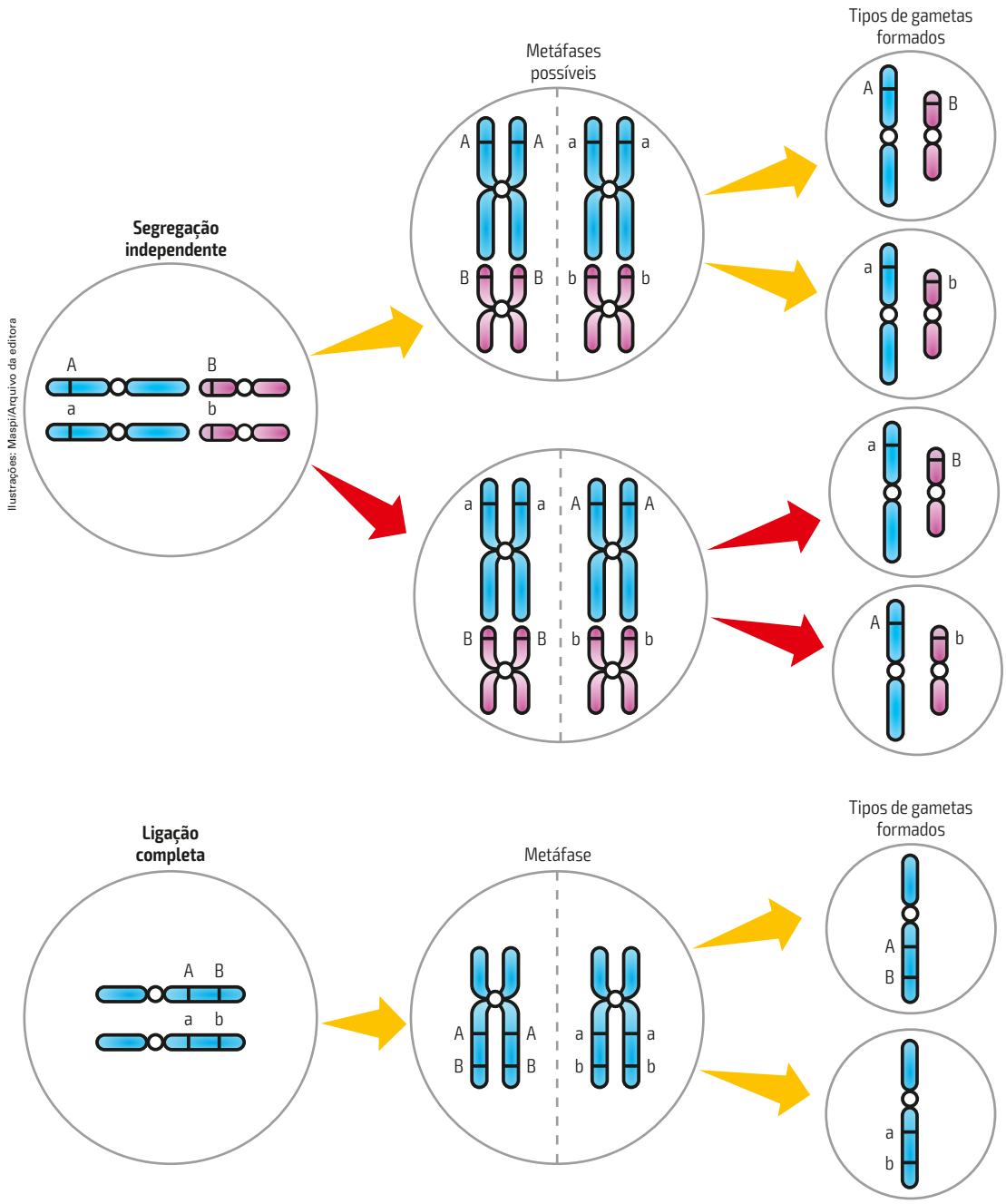


Figura 5.2 Produção de gametas de um heterozigoto para genes em cromossomos distintos e para genes com ligação completa (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia).

Os tipos de gametas

Quando dois genes que estão situados em um mesmo cromossomo vão para o mesmo gameta durante a meiose, ocorre a chamada ligação completa. Mas isso nem sempre acontece, pois pode ocorrer uma permutação, também chamada **permutação cromossômica**. Em inglês, e também em alguns textos em português, é usada a expressão ***crossing-over*** (que pode ser traduzida por 'sobrecruzamento'). A permutação consiste em uma troca de partes entre as cromátides homólogas (como vimos no Volume 1 desta coleção).

Durante a prófase da primeira divisão da meiose, os cromossomos homólogos duplicados se emparelham e formam um conjunto de quatro cromátides. Nesse momento, pode ocorrer quebra de cromátides e uma ressoldagem, com troca de pedaços de cromátides homólogas. Quando ocorre a permutação, um alelo situado acima do ponto de quebra se desliga de outro situado abaixo desse ponto.

Observe na figura 5.3 que, em consequência da permutação, dois alelos originalmente ligados podem separar-se e migrar para gametas diferentes. Nesse caso, na meiose se formarão:

- **gametas de recombinação** ou **recombinantes**, ou, ainda, **com permutação**, isto é, gametas com uma combinação de alelos diferente da que existia nos cromossomos dos pais; dizemos que houve uma ligação **parcial** ou **incompleta**;
- gametas com as mesmas combinações de alelos encontradas nos pais. Esses são chamados **gametas parentais**, **sem permutação** ou **não recombinantes**.

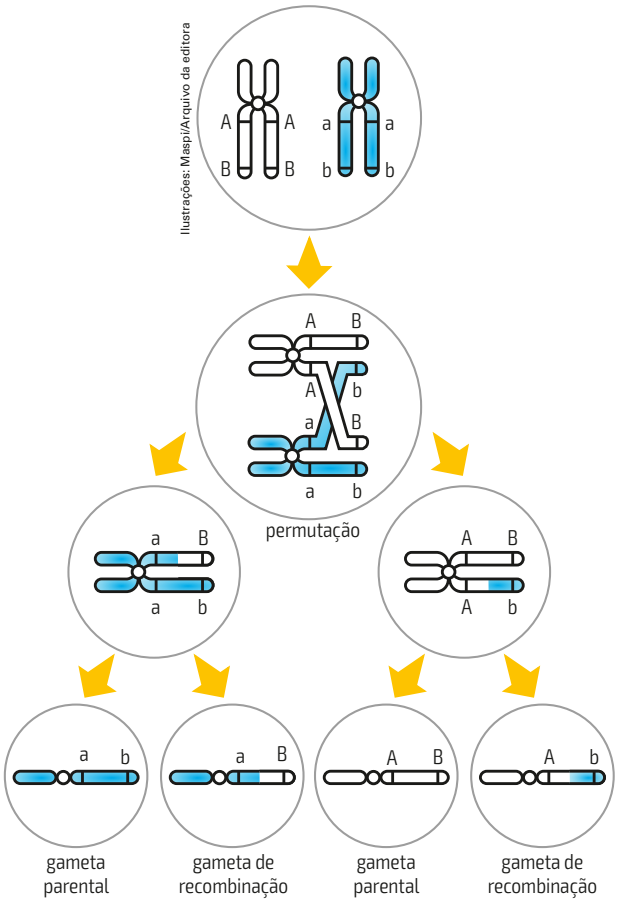


Figura 5.3 Permutação e formação dos gametas de recombinação (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia).

É importante ressaltar que a quebra e a troca de pedaços acontecem ao acaso, em qualquer ponto dos cromossomos. Desse modo, os gametas de recombinação só se formam quando a quebra ocorre no trecho situado entre os lócus onde estão os genes em questão. Quando ocorre abaixo ou acima desse intervalo, os gametas de recombinação não se formam. Portanto, algumas meioses fornecem gametas de recombinação e outras não.

Podemos entender por que um híbrido para dois pares de alelos ligados, representado por $\frac{AB}{ab}$ ou $\frac{AB}{ab}$ (simplificadamente, AB/ab), produz geralmente uma porcentagem de gametas parentais (**AB** e **ab**) maior que a de gametas de recombinação (**Ab** e **aB**). Os gametas parentais se formam sempre, haja ou não permutação; os gametas de recombinação só aparecem quando a permutação ocorre entre os dois genes em questão.

2 Cálculo da taxa de permutação

Hoje sabemos que quanto maior a distância entre dois lócus situados no mesmo cromossomo, maior a possibilidade de permutação entre eles e maior a quantidade de gametas formados por recombinação (figura 5.4).

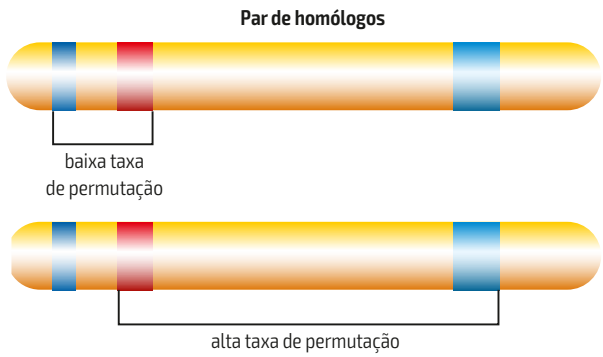
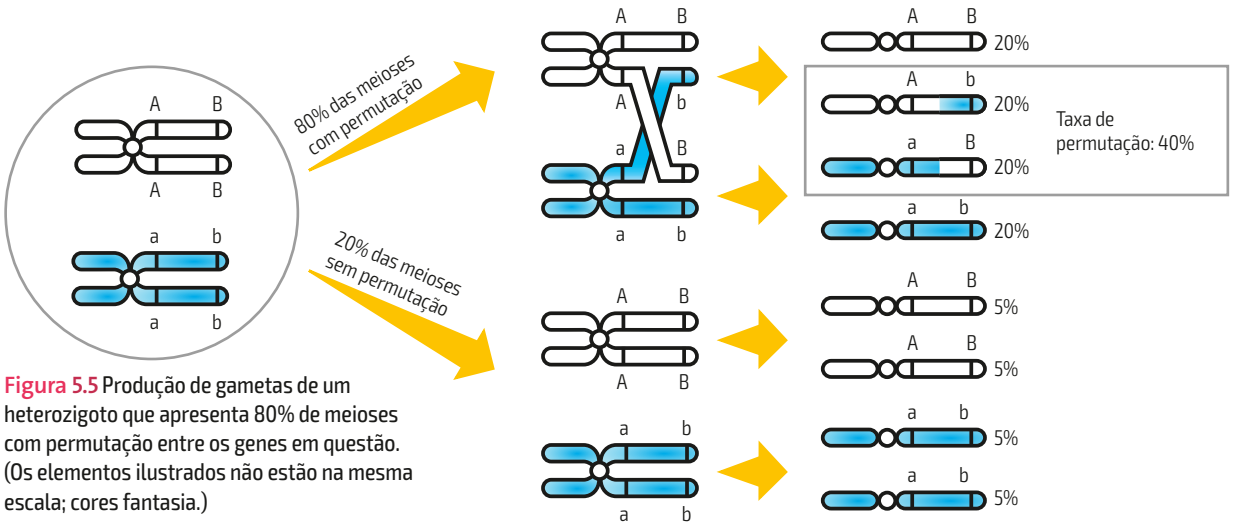


Figura 5.4 Quando os genes estão distantes, há maior chance de ocorrer a permutação entre eles, pois há mais possíveis pontos de quebra na cromátide. (Cromossomos são microscópicos; cores fantasia.)

Imagine dois genes afastados a uma distância que permite a ocorrência de permutação em 80% das meioses. Pelo esquema da figura 5.5 podemos ver que, nesse caso, se formam dois tipos de gametas de recombinação, cada um correspondendo a 20% do total de gametas formados. A soma das porcentagens dos gametas de recombinação é chamada de **taxa** ou **frequência de permutação** (ou de **recombinação**). No exemplo da figura 5.5, essa taxa é de 40% (20% de **Ab** mais 20% de **aB**).

A taxa de recombinação indica a distância relativa entre os genes: quanto mais distantes estiverem os genes, maior será a taxa. Convém notar que a taxa máxima de permutação é de 50%, pois corresponde a 100% de meioses com permutação. Nesse caso, os resultados não se distinguem dos gametas produzidos por genes em cromossomos diferentes.

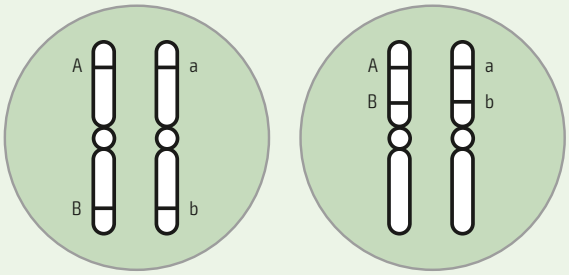


Ilustrações: Maspi/Arquivo da editora

Figura 5.5 Produção de gametas de um heterozigoto que apresenta 80% de meioses com permutação entre os genes em questão. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Exercícios resolvidos

1. Considere o esquema das células abaixo:



Banco de imagens/Arquivo da editora

a) Em qual das células haverá menor taxa de recombinação entre **A** e **B**? Por quê?
b) Em qual das células a porcentagem de gametas **Ab** deve ser maior? Justifique.

Resolução:
a) Na célula **2**, pois a distância entre **A** e **B** é menor.
b) Na célula **1**, visto que **A** e **B** estão mais distantes e a frequência de recombinação será maior. Assim, a porcentagem de gametas de recombinação, como o gameta **Ab**, também será maior.

2. A tabela a seguir mostra os tipos de gametas produzidos por três organismos duplo heterozigotos (I,II e III).

Organismos	Gametas	Frequência
I. AaBb	AB	25%
	Ab	25%
	aB	25%
	Ab	25%
II. CcDd	CD	50%
	cd	50%
III. RrSs	RS	35%
	Rs	15%
	rS	15%
	rs	35%

a) Pela análise da proporção de gametas formados, identifique o genótipo do indivíduo em que não tenha havido permutação entre os genes em questão (ligação completa).
b) Identifique o genótipo do indivíduo em que, com certeza, há ligação parcial incompleta. Determine a taxa de recombinação nesse caso.
c) Identifique o genótipo do indivíduo que pode representar um caso de segregação independente.

Resolução:
a) O indivíduo de genótipo CcDd representa o caso de ligação completa, pois só se formam dois tipos de gametas, na mesma proporção.
b) O indivíduo de genótipo RrSs representa o caso de ligação incompleta, pois se formam quatro tipos de gametas em proporções desiguais. Os gametas de menor proporção são os de recombinação e os de maior proporção são os parentais. A taxa de recombinação é de 30% (soma de 15% de **Rs** e 15% de **rS**).
c) O indivíduo de genótipo AaBb pode representar um caso de segregação independente, visto que são formados quatro tipos diferentes de gametas na mesma proporção.

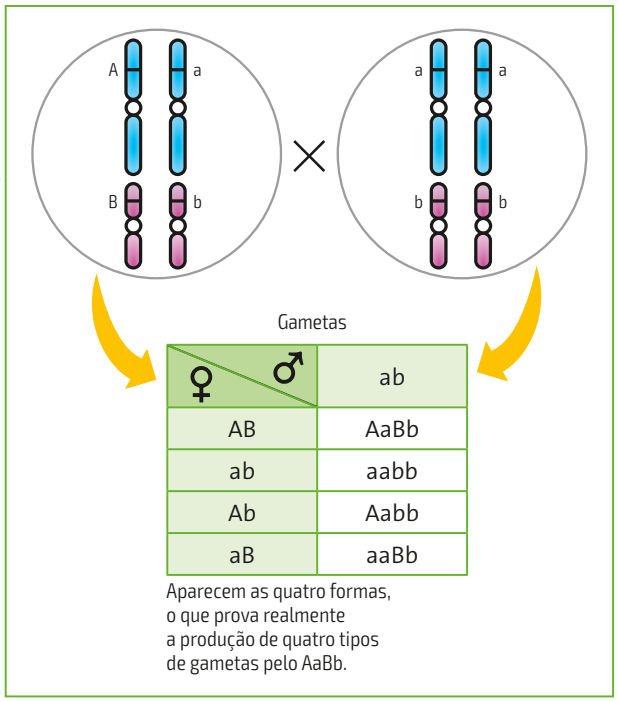
3 O cruzamento-teste e a taxa de recombinação

Já vimos que a proporção de gametas formados por um di-híbrido pode indicar se os genes estão ligados ou não. E que é possível descobrir se houve ou não recombinação entre os genes estudados durante a formação dos gametas na meiose.

Outra forma de confirmar se os genes estão ligados é realizando um cruzamento-teste (com um indivíduo recessivo), que pode ser um retrocruzamento (com um dos indivíduos parentais).

Se cruzarmos um indivíduo di-híbrido AaBb, que possui dois pares de alelos em cromossomos diferentes, com um duplo recessivo aabb, veremos que podem se formar quatro tipos de filhos (figura 5.6). Quando os pares de alelos **AB** e **ab** estão no mesmo cromossomo e não ocorre a permutação na formação dos gametas, devem aparecer apenas dois tipos de filhos com o mesmo fenótipo dos pais (figura 5.7). Por causa da falta dos gametas **Ab** e **aB**, ficam ausentes as chamadas classes de recombinação, formadas pela recombinação de genes paternos e maternos.

A taxa de permutação pode ser calculada com base em cruzamentos-testes. Foi isso que Morgan fez: estudando as drosófilas, ele encontrou desvios em relação às proporções mendelianas quando analisava o resultado de cruzamentos para duas características simultâneas. Nas páginas seguintes, veremos um exemplo desse tipo de cruzamento.



Ilustrações: Maspi/Arquivo da editora

Figura 5.6 Cruzamento-teste de um híbrido AaBb com genes situados em cromossomos diferentes (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia).

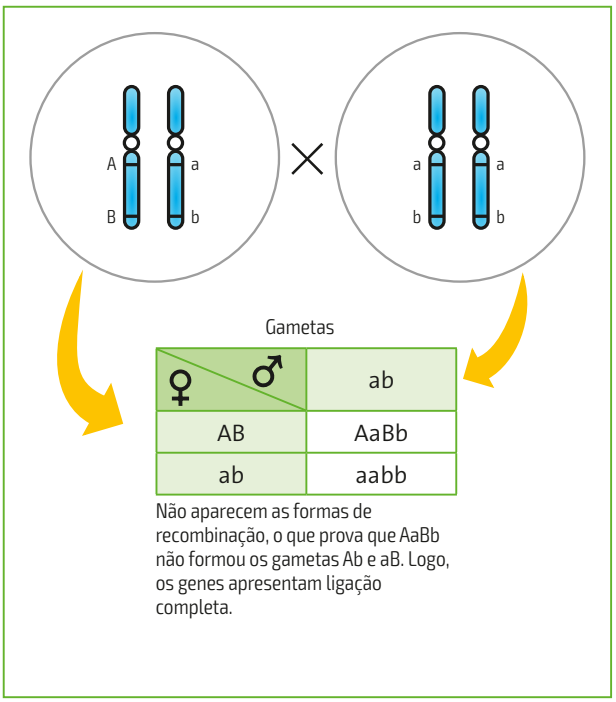
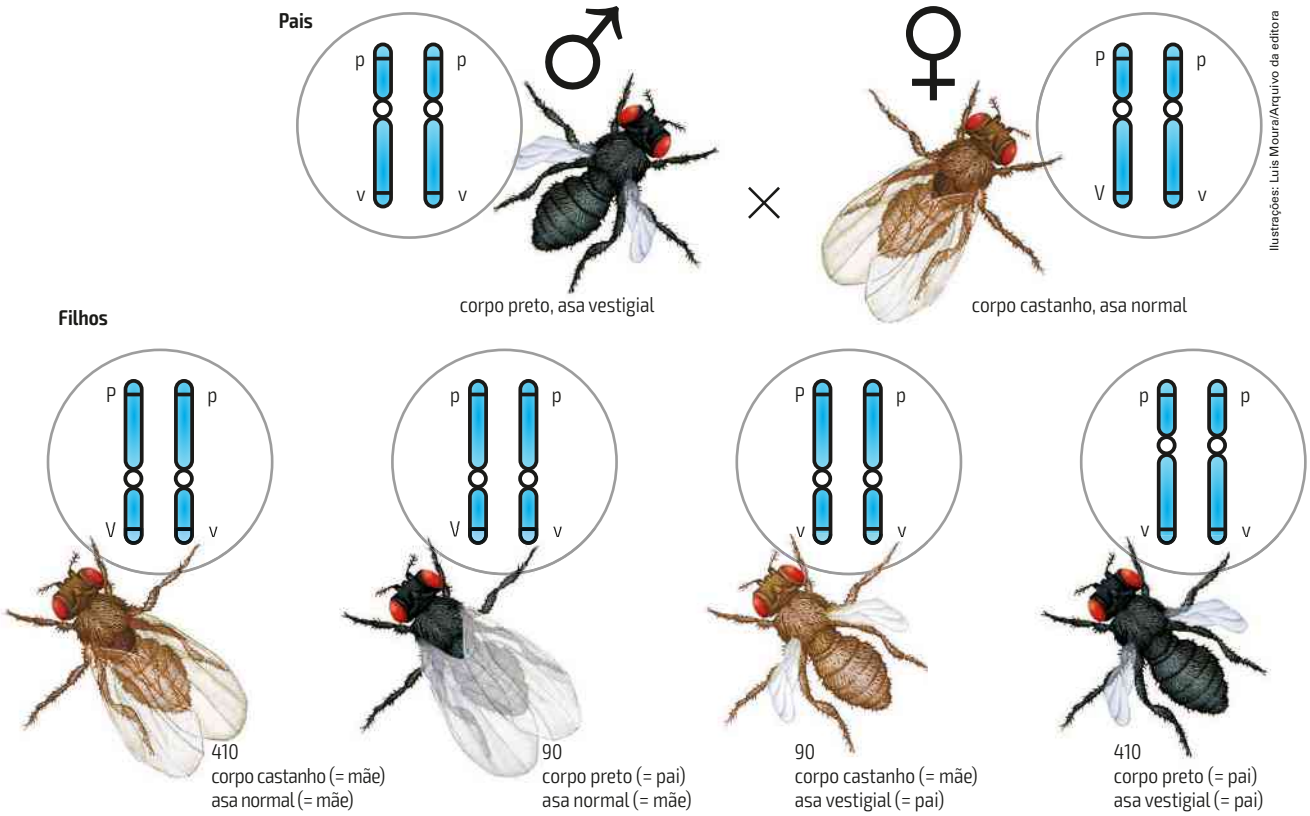


Figura 5.7 Cruzamento-teste de um híbrido AaBb com genes situados no mesmo cromossomo (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia).

A figura 5.8 esquematiza um cruzamento de uma drosófila macho de corpo preto e asa vestigial, características recessivas (pv/pv), com uma drosófila fêmea de corpo castanho e asa normal, duplamente heterozigota (PV/pv). "Corpo castanho" e "asa normal" compõem o chamado **tipo selvagem**, porque é o fenótipo mais comum na natureza. Em oposição, "corpo preto" e "asa vestigial" compõem o chamado **mutante** (para simplificar, usamos para os alelos da drosófila o mesmo padrão de letras de outros organismos, embora para drosófilas haja uma notação específica, que usa uma ou mais letras da palavra em inglês correspondente à característica mutante – maiúscula se for dominante e minúscula se for recessiva – e a mesma letra com o sinal "+" sobrescrito para o alelo selvagem). No cruzamento foram obtidos 90 indivíduos de asa normal e corpo preto, 90 de asa vestigial e corpo castanho, 410 de corpo preto e asa vestigial e 410 de corpo castanho e asa normal. Se os genes estivessem em cromossomos diferentes, deveríamos esperar uma proporção fenotípica de 1 : 1 : 1 : 1, diferente da proporção obtida nesse cruzamento-teste.



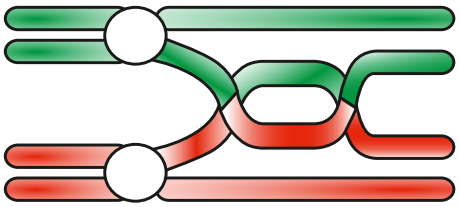
Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 5.8 Cruzamento-teste com genes ligados para cor do corpo e tamanho da asa da drosófila (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; drosófilas têm cerca de 3 mm de comprimento; cores fantasia).

Para explicar desvios desse tipo, Morgan sugeriu que os genes para as características estudadas – cor do corpo e tamanho da asa, no nosso exemplo – estariam no mesmo cromossomo e que no pareamento dos homólogos, durante a meiose, ocorria ocasionalmente uma troca entre as cromátides. Isso explicava o surgimento de indivíduos com novas combinações de características (corpo preto com asa normal e corpo castanho com asa vestigial, nesse exemplo). Morgan sugeriu também que quanto mais afastados em um cromossomo estiverem dois genes, maior é a probabilidade de ocorrer permutação entre eles.

Para chegar a essas conclusões, Morgan se valeu de observações de vários pesquisadores em citologia relatando figuras em forma de X, que hoje chamamos quiasmas, nos pares de cromossomos. O quiasma acontece nos locais em que há permutação entre os cromossomos durante a meiose (figura 5.9). O quiasma serviu, então, como uma evidência citológica de que houve uma permutação naquele ponto.

Quando queremos calcular a taxa de permutação, primeiro identificamos os indivíduos formados por recombinação, aqueles resultantes dos gametas obtidos por permutação e que estão em menor número.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 5.9 Ilustração de quiasma entre um par de cromossomos (cores fantasia).

Nesse exemplo se formam dois grupos recombinantes, cada um com 90 indivíduos; portanto, o total de recombinantes é de 180 indivíduos. Como no cruzamento-teste a frequência de indivíduos recombinantes é igual à de gametas produzidos por permutação, basta transformar esse número em porcentagem: o total de indivíduos é 1 000 (90 + 90 + 410 + 410), que corresponde a 100%. Assim, 180 indivíduos correspondem a 18%. Logo, a taxa de permutação é de 18%.

Há casos, no entanto, em que a taxa de permutação já é conhecida. Por exemplo, **A** e **B** estão ligados e ocorre entre eles 20% de taxa de permutação. Sabendo disso, qual é o resultado do retrocruzamento do heterozigoto AB/ab com o homozigoto ab/ab?

Como a taxa de permutação indica a a soma das porcentagens dos gametas de recombinação, temos: AB/ab, 80% (**AB** + **ab**) e 20% (**Ab** + **aB**).

Filhos	♀\♂	ab	Proporção genotípica
80%	40% **AB**	AB/ab	40%
	40% **ab**	ab/ab	40%
20%	10% **Ab**	Ab/ab	10%
	10% **aB**	aB/ab	10%

Logo, a proporção genotípica é de 40% AB/ab, 40% ab/ab, 10% Ab/ab e 10% aB/ab ou 4 : 4 : 1 : 1.

Quando os alelos dominantes dos dois genes estão em um cromossomo e os recessivos no outro, ocorre a posição **cis**. Se os alelos ligados são um dominante para certa característica e o outro recessivo para outra característica, acontece a posição **trans**. Veja a figura 5.10.

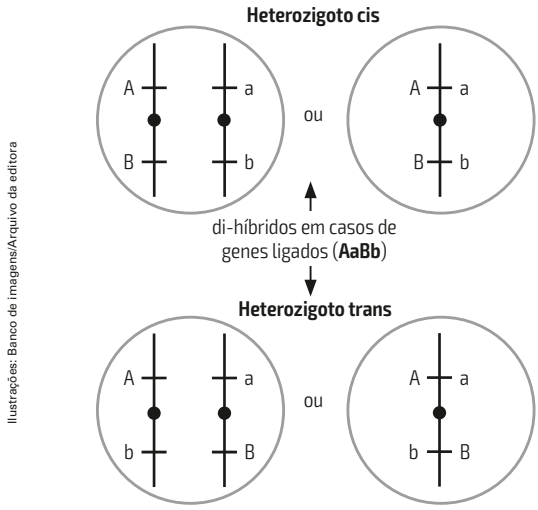


Figura 5.10 Posições cis e trans em casos de genes ligados.

A diferença entre os dois casos fica clara na representação usual: AB/ab (cis) e Ab/aB (trans). Alguns autores usam para os casos de ligação a mesma representação do di-hibridismo. Nesse caso, tanto a posição cis como a posição trans são representadas por AaBb.

Podemos identificar a diferença pelo cruzamento-teste. As classes de recombinação serão sempre as menos frequentes. Na posição cis, os indivíduos duplo dominantes e os duplo recessivos aparecem em maior quantidade; na posição trans eles formam as classes de recombinação e aparecem em menor quantidade.

Quando 100% das células que sofrem meiose realizam a permutação, não podemos distinguir os resultados de um cruzamento-teste obtidos de um di-híbrido com os genes ligados dos de um caso de segregação independente. Isso acontece porque a proporção de descendentes em ambos os casos é de 1 : 1 : 1 : 1, pois o di-híbrido forma, nesse caso, 25% de cada um dos quatro gametas (figura 5.11).

Quando dois genes estão muito próximos, por exemplo, praticamente não há permutação entre eles (taxa de permutação = 0), ocorrendo uma ligação completa, com a proporção de 1 : 1 no cruzamento-teste. Isso acontece porque o di-híbrido (AB/ab) forma apenas dois tipos de gametas (**AB** ou **ab**) e o indivíduo aabb forma apenas o gameta **ab**.

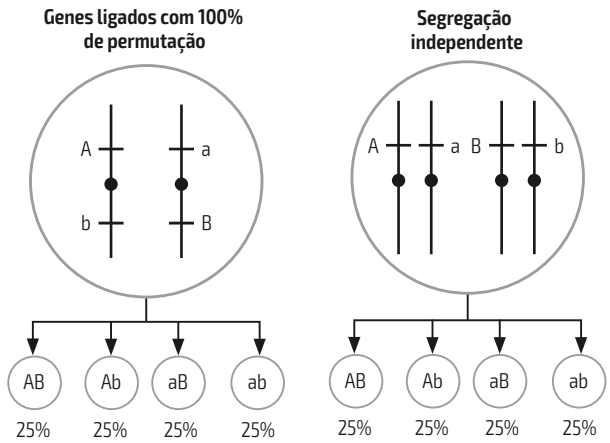


Figura 5.11 Em ambos os casos, em um cruzamento com um indivíduo aabb vão se formar quatro tipos de descendentes nas mesmas proporções.

Exercício resolvido

(Fuvest-SP) O cruzamento AaBb × aabb produziu a seguinte descendência: AaBb, 48%; aaBb, 2%; Aabb, 2%; aabb, 48%.

a) Qual a taxa de permutação entre os genes em questão?

b) Qual a posição dos genes nos cromossomos do heterozigoto utilizado no cruzamento?

Resolução:

a) Somando os indivíduos provenientes de gametas de recombinação (aaBb e Aabb), obteremos 4%, que é a taxa de permutação.

b) Temos de procurar os indivíduos provenientes de gametas parentais, que estão em maior proporção. No caso, os indivíduos AaBb e aabb. Como sabemos que o indivíduo duplo recessivo sempre contribui com o mesmo gameta (**ab**), concluímos que os gametas parentais eram **AB** e **ab**. Portanto, os genes estão situados em posição cis, no heterozigoto.

Taxa de permutação e mapas genéticos

Como vimos, Morgan sugeriu que quanto mais afastados em um cromossomo estiverem dois genes, maior é a probabilidade de ocorrer permutação entre eles. Um aluno seu, Alfred H. Sturtevant (1891-1970) deu um passo além, propondo que a probabilidade de permutação entre dois genes poderia ser usada para indicar a distância relativa entre eles. Sturtevant analisou a frequência de permutação do resultado de vários cruzamentos realizados por Morgan e colaboradores e a partir daí elaborou alguns mapas genéticos.

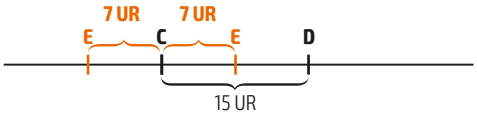
Por convenção, a taxa de 1% de permutação corresponde ao valor de **1 unidade de recombinação** (**UR**) ou **1 unidade de mapa** (**UM**). Em homenagem a Thomas Morgan, essa unidade é também chamada **centimorgan** (**cM**) ou **morganídeo**. Se dois genes apresentam 10% de taxa de permutação, a distância entre eles no cromossomo é de 10 UR (ou 10 morganídeos).

Com base nas diferentes taxas de permutação entre os genes é possível estabelecer sua posição nos cromossomos e montar um **mapa cromossômico** ou **genético**.

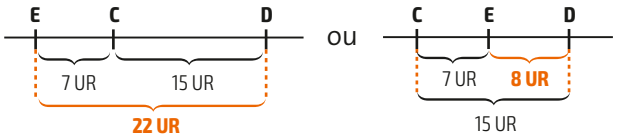
Vejamos como determinar a distância entre os genes.

Imagine três genes – **C**, **D** e **E** – situados no mesmo cromossomo. Qual será a posição desses genes? A taxa de permutação entre **C** e **D** é de 15%, ou seja, a distância entre eles é de 15 unidades de recombinação:

A taxa de permutação entre **C** e **E** é de 7%, e há duas possibilidades de posicionar o gene **E** em relação ao gene **C**:



Nesse caso, para determinar a ordem correta, é preciso saber a taxa de recombinação (ou seja, a distância) entre os genes **E** e **D**: se a distância for de 22 UR, então a ordem dos genes é ECD; se for de 8 UR, então a ordem é CED. Veja abaixo:



Quando dois genes estão muito distantes um do outro, pode ocorrer entre eles uma permutação dupla. Quanto à produção de gametas de recombinação, a ocorrência de duas permutações acaba sendo nula, pois uma anula o efeito da outra.

Hoje, os marcadores moleculares do DNA, a análise genômica e outras tecnologias do DNA recombinante (tema do Capítulo 7) permitem ter uma ideia da posição real dos genes em um mapa físico, com as distâncias indicadas em número de pares de bases. Foi possível estabelecer que 1 centimorgan, por exemplo, corresponde a cerca de 1 milhão de pares de bases. Essa relação é aproximada porque a chance de ocorrer permutação varia de uma região para outra do cromossomo (a permutação é inibida em regiões próximas ao centrômero, por exemplo).

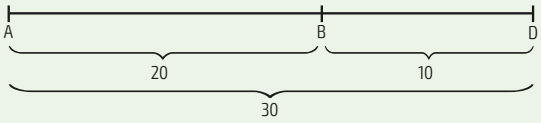
Exercício resolvido

(Fuvest-SP) Um organismo, homozigoto para os genes **A**, **B**, **C** e **D**, todos localizados em um mesmo cromossomo, é cruzado com outro, que é homozigoto recessivo para os mesmos alelos. O retrocruzamento de F_1 (com o duplo recessivo) mostra os seguintes resultados:

- não ocorreu permuta entre os genes **A** e **C**;
- ocorreu 20% de permuta entre os genes **A** e **B**, 30% entre **A** e **D**;
- ocorreu 10% de permuta entre os genes **B** e **D**.

Com base nesses resultados, qual a sequência mais provável desses quatro genes no cromossomo a partir do gene **A**?

Resolução:
Com os dados da questão, esquematizamos a reta que representa o cromossomo e achamos a sequência mais provável. Observe:



A sequência mais provável desses genes no cromossomo a partir do gene **A** seria: A C B D. Como não ocorre permutação entre **A** e **C**, podemos deduzir que esses genes estão muito próximos. Haveria também a possibilidade de o gene **C** estar antes de **A**. Então, a ordem seria C A B D.

História da ciência

Mendel e a ligação gênica

Na época de Mendel ainda não se sabia o papel dos cromossomos e dos genes na hereditariedade, e a ligação gênica não era conhecida. Então, será que Mendel não teria encontrado uma proporção diferente de 9 : 3 : 3 : 1, devido a alguma ligação gênica?

Mendel realizou muitos testes antes de escolher as características que estudaria. É possível que tenha desprezado pares de características que fugiam das proporções fenotípicas produzidas por genes situados em cromossomos diferentes. Outra hipótese é que os produtores que vendiam sementes para Mendel selecionavam suas ervilhas em função de características que se comportavam de forma independente.

Ainda é possível que, mesmo para alguns pares de genes situados no mesmo cromossomo, Mendel tenha encontrado a clássica proporção de 9 : 3 : 3 : 1. Esse pode ser o caso dos genes para cor da flor e cor da semente, que estão muito distantes (figura 5.12).

Saber o que realmente aconteceu depende da análise de documentos históricos, entre outras evidências (um trabalho para a história da Ciência).

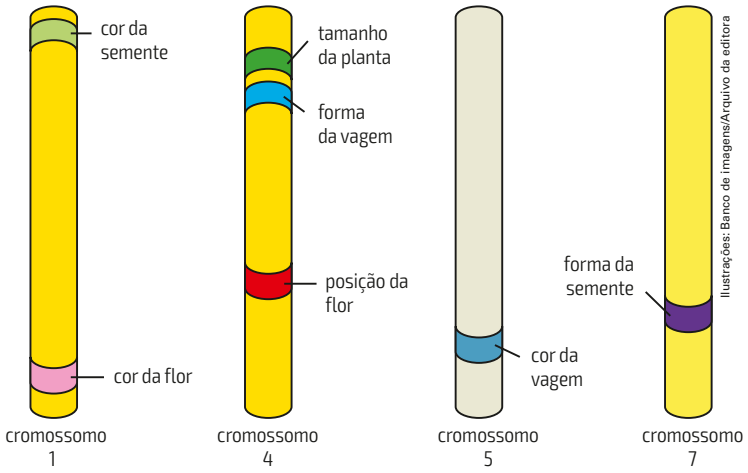


Figura 5.12 Localização de alguns genes da ervilha (os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia).

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Imagine que os alelos dominantes **A** e **B** estejam ligados no mesmo cromossomo, ocorrendo, logicamente, o mesmo entre os alelos **a** e **b**. Supondo que não haja permutação entre eles, quais são os gametas produzidos pelo indivíduo portador desses cromossomos? Qual é a proporção genotípica obtida no cruzamento desse indivíduo com o duplo recessivo aabb?

2. Supondo que em apenas 40% das células de um indivíduo AB/ab haja permutação entre os genes em questão, que gametas são formados e em que proporção? Indique os gametas de recombinação. Qual é a taxa de permutação?

3. Em relação aos genes ligados, podemos dizer que quanto maior a taxa de permutação, maior a distância entre os genes? Justifique sua resposta.

4. Sabendo que a distância entre dois alelos dominantes **A** e **B** é de 10 UR, que gametas, e em que proporções, um indivíduo AB/ab deve produzir?

5. No cruzamento-teste de um indivíduo AaBb com genes ligados, obteve-se a seguinte distribuição genotípica: 187 AaBb, 213 aabb, 310 Aabb, 290 aaBb. Qual é a taxa de permutação? Os genes estão em posição cis ou trans?

6. Cruzando um indivíduo RP/rp, com ligação parcial entre os genes em questão, com um indivíduo duplo recessivo, obteve-se o seguinte resultado: 350 filhotes dominantes para ambas as características; 350 filhotes recessivos; 150 dominantes apenas para a característica condicionada pelo alelo **R**; 150 dominantes apenas para a característica condicionada pelo alelo **P**. Qual é a taxa de permutação entre os genes?

7. Em uma raça de coelhos, a cor do pelo negro é determinada por um gene dominante (**B**), enquanto seu alelo (**b**) determina a cor branca. O tamanho do pelo também é controlado por um par de genes, sendo o alelo dominante (**L**) para pelo curto e o alelo recessivo (**l**) para pelo longo. A tabela a seguir apresenta os fenótipos dos pais e os fenótipos das respectivas proles, após vários cruzamentos.

		Cruzamentos	
		Pelos negros e curtos × pelos negros e curtos	Pelos brancos e curtos × pelos brancos e curtos
Prole	Pelos negros e curtos	70	0
	Pelos negros e longos	26	0
	Pelos brancos e curtos	22	62
	Pelos brancos e longos	8	20

Quais são os genótipos mais prováveis dos pais, em cada casal? Justifique sua resposta.

8. (Unicamp-SP) Um cruzamento entre uma fêmea heterozigota para dois pares de genes (AaBb) e um macho homozigoto (aabb) resultou na seguinte descendência: AaBb, Aabb, aaBb, aabb. Foi observado também que todas as classes acima apareceram na mesma frequência (25%), tanto entre os machos como entre as fêmeas. Considerando que há interesse em determinar se existe ou não ligação entre os genes estudados, explique qual seria a informação que esse cruzamento fornece.

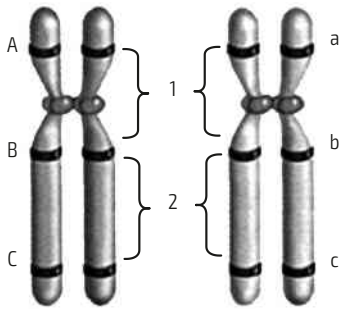
9. (Unirio-RJ) Em certa espécie de cobaia, um macho duplo heterozigoto (pelos e olhos escuros) foi cruzado com uma fêmea de pelo e olhos claros, produzindo, ao longo de suas vidas, 50 descendentes que apresentavam a seguinte distribuição:

- 46% indivíduos de pelo e olhos escuros
- 46% indivíduos de pelo e olhos claros
- 4% indivíduos de pelo escuro e olhos claros
- 4% indivíduos de pelo claro e olhos escuros

Considere que o gene **A**, para pelo escuro, domina o gene **a** para pelo claro, enquanto o gene **B**, para olhos escuros, domina o gene **b**, para olhos claros. Com estas informações e seus conhecimentos genéticos, determine:

a) os genótipos desta prole.
b) os gametas produzidos pelo macho duplo heterozigoto.
c) que tipo de segregação ocorre neste caso.
d) Considerando a porcentagem da prole gerada e que os genes se localizam linearmente no cromossomo, determine qual é a distância relativa entre o lócus para cor de pelo e o lócus para cor de olhos.

10. (Unioeste-PR) *Crossing-over* ou permuta é um importante fenômeno que ocorre na prófase I meiótica, responsável pela recombinação entre os diferentes pares de genes de cromossomos homólogos. O desenho abaixo representa um par de cromossomos homólogos, com 3 genes: gene **A**, gene **B** e gene **C**, cada um destes possuindo dois alelos (alelo dominante e alelo recessivo). A partir deste desenho, assinale a alternativa correta.



Reprodução/Unioeste

a) Se houver *crossing-over* apenas na região **1** serão produzidos gametas com as combinações ABC, abc, ABc e abC.
b) Se houver *crossing-over* apenas na região **2** serão produzidos gametas com as combinações ABC, abc, Abc e aBC.
X c) Se houver *crossing-over* nas regiões **1** e **2** serão produzidos gametas com as combinações ABC, abc, AbC e aBc.
d) Se houver *crossing-over* apenas na região **1** serão produzidos somente gametas com as combinações Abc e aBC.
e) Se houver *crossing-over* apenas na região **2** serão produzidos somente gametas com as combinações ABc e abC.

11. (UPE) Um dado indivíduo heterozigoto para os genes **A** e **B** (configuração cis) é submetido a um cruzamento-teste. Se os dois genes forem:

I. não ligados (segregação independente);

II. separados por 40 centimorgan (cM).

Que porcentagem da prole desse cruzamento será aabb?

a) I – 50%; II – 40%
b) I – 20%; II – 50%
X c) I – 25%; II – 30%
d) I – 40%; II – 20%
e) I – 30%; II – 25%

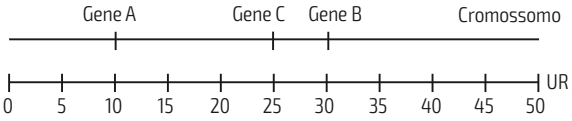
12. (Acafe-SC) Um cruzamento entre uma fêmea duplo heterozigota (AaBb) com um macho duplo recessivo revelou a seguinte proporção genotípica entre os descendentes: 40% AaBb, 40% aabb, 10% Aabb, 10% aaBb.

Assim, assinale a alternativa correta.

a) Não há evidência que tenha ocorrido permutação na formação dos gametas.
b) A segregação observada dos genes está de acordo com a Segunda Lei de Mendel.
X c) Os resultados indicam que os genes estão em ligação, a uma distância de 20 UR.
d) O arranjo dos genes alelos na fêmea é trans (AB/ab).

13. (Uesc-BA) A taxa ou frequência de permutação entre pares de genes que estão ligados é constante e depende da distância que esses genes se encontram uns dos outros. O geneticista Alfred Sturtevant imaginou que seria possível construir mapas gênicos, que mostrariam a distribuição dos genes ao longo do cromossomo e as distâncias relativas entre eles. O quadro a seguir mostra um exemplo desse tipo de mapa gênico.

	Taxa de permutação experimental		
Gene	**A**	**B**	**C**
A	-	X	15%
B	20%	-	Y
C	15%	5%	-



Com base nas informações contidas no quadro, é possível afirmar que os valores corretos para as taxas de permutação em **X** e **Y** são, respectivamente:

a) 5% e 20%
b) 15% e 20%
c) 15% e 5%
d) 20% e 15%
X e) 20% e 5%

14. (UFPE) A frequência de recombinação entre os lócus **A** e **B** é de 10%. Em que porcentual serão esperados descendentes de genótipo AB//ab a partir de progenitores com os genótipos mostrados na figura?

a) 5%
b) 90%
X c) 45%
d) 10%
e) 20%

15. (UFPR) Admita que dois genes, **A** e **B**, estão localizados num mesmo cromossomo. Um macho AB/ab foi cruzado com uma fêmea ab/ab. Sabendo que entre esses dois genes há uma frequência de recombinação igual a 10%, qual será a frequência de indivíduos com genótipo Ab/ab encontrada na descendência desse cruzamento?

a) 50%
b) 25%
c) 30%
d) 100%
X e) 5%

16. (Unirio-RJ) Um indivíduo com genótipo AaBb produz gametas nas seguintes proporções: 25% **AB**, 25% **Ab**, 25% **aB** e 25% **ab**. Outro indivíduo com genótipo DdEe produz gametas nas seguintes proporções: 50% **DE** e 50% **de**. Podemos concluir que:

X a) os genes **D** e **E** estão ligados e entre eles não ocorre *crossing-over*.
b) os genes **D** e **E** estão ligados e entre eles ocorre *crossing-over*.
c) os genes **D** e **E** segregam-se independentemente e entre eles não ocorre *crossing-over*.
d) os genes **A** e **B** estão ligados e entre eles não ocorre *crossing-over*.
e) os genes **A** e **B** segregam-se independentemente e entre eles ocorre *crossing-over*.

17. (UFRGS-RS) Quando se estuda uma célula meiótica duplo heterozigota AaBb e se diz que, para esses genes, está ocorrendo segregação independente, é incorreto afirmar que:

a) os cromossomos de origem materna e paterna que contêm esses genes podem combinar-se livremente.
X b) pode ocorrer recombinação entre os genes **A** e **B**.
c) os genes **A** e **B** que se situam em diferentes pares de homólogos distribuem-se ao acaso em diferentes gametas.
d) os genes **A** e **B** estão em grupos de ligação separados.
e) os genes **A** e **B** não são alelos.

CAPÍTULO 6

Sexo e herança genética

Biophoto Associates/Photo Researchers/Latinstock

Os cromossomos X (à direita) e Y dos seres humanos (microscopia eletrônica; aumento de cerca de 35 mil vezes; imagem colorizada por computador).

Na espécie humana, assim como na maioria das espécies, os principais fatores determinantes do sexo são os genes. Em geral, esses genes estão situados em cromossomos especiais, chamados cromossomos sexuais. Além de participarem na definição do sexo do indivíduo, os cromossomos sexuais contêm genes que determinam outras características. Como veremos a seguir, a herança dessas características pode variar de acordo com o sexo do indivíduo.

- *Quais são os cromossomos sexuais em humanos?*
- *Como são herdadas as características determinadas por genes que se encontram nesses cromossomos?*

1 Cromossomos sexuais

Na maioria das espécies, os genes que participam da determinação do sexo do indivíduo estão localizados, em geral, nos **cromossomos sexuais**, também conhecidos como **heterossomos**, **heterocromossomos** ou **alossomos** (do grego *hétero* = diferente; *alos* = outro; *soma* = corpo). Os demais cromossomos que não estão envolvidos na determinação do sexo são chamados autossomos (do grego *autós* = si próprio).

Em quase todos os vertebrados e em muitos invertebrados em que os sexos são separados, as fêmeas apresentam dois cromossomos sexuais idênticos (XX), e os machos, um cromossomo idêntico ao das fêmeas e outro diferente (XY). Nos mamíferos, um gene no cromossomo Y leva ao desenvolvimento de testículos, que produzem hormônios masculinos. Na ausência desse gene, formam-se ovários, que produzem hormônios femininos.

Esse sistema, chamado **sistema XY**, está presente também em muitas plantas.

Como nas células diploides há dois autossomos de cada tipo, podemos representar os machos por 2AXY e as fêmeas por 2AXX (**A** representa um conjunto haploide de autossomos). Na espécie humana, há 44 autossomos e 2 cromossomos sexuais, o que pode ser representado por: mulher: 46, XX; homem: 46, XY.

Como sabemos, o processo de divisão celular que origina os gametas em animais é a meiose. Assim, metade dos espermatozoides do macho possui o cromossomo X e a outra metade, o cromossomo Y. Dizemos, então, que o sexo masculino é **heterogamético**. Nas fêmeas, todos os óvulos apresentam cromossomo X, pois elas possuem apenas esse tipo de cromossomo sexual. Dizemos que o sexo feminino é **homogamético**.

O sexo é determinado no momento da fecundação. Se o óvulo (na maioria dos mamíferos, trata-se de um ovócito) for fecundado por um espermatozoide X, o embrião formado originará uma fêmea; se o for por um espermatozoide Y, nascerá um macho (figura 6.1).

Luis Moura/Arquivo da editora

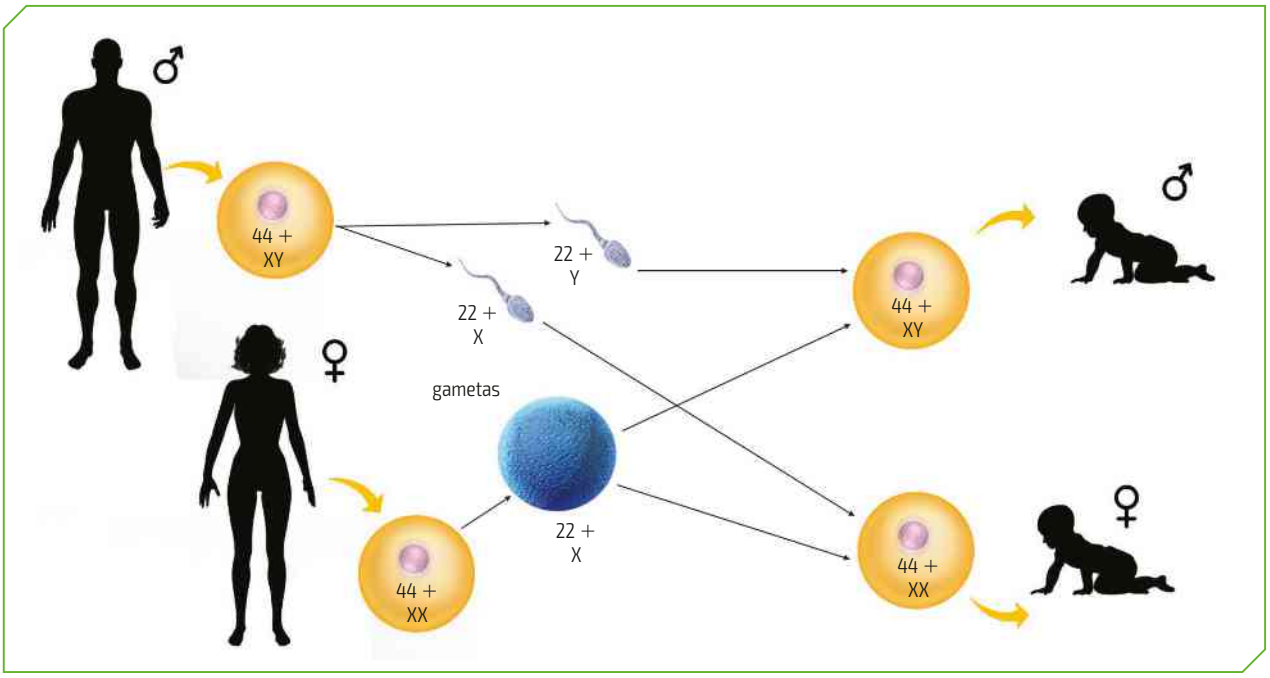


Figura 6.1 Determinação do sexo no sistema XY. Além dos cromossomos sexuais, está indicado também o número de autossomos nos gametas e nos zigotos. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

A proporção de nascimentos de machos e fêmeas é de cerca de 50%. Na espécie humana, nasce um número um pouco maior de meninos (ainda se discute o motivo dessa alteração). Na faixa etária que corresponde à adolescência, entretanto, a proporção de nascimentos entre meninos e meninas aproxima-se de 50%.

A determinação biológica do sexo do indivíduo nem sempre determina sua orientação afetivo-sexual. Isso quer dizer que existem pessoas que se sentem atraídas por outras do mesmo sexo biológico. Há ainda pessoas que não se identificam com o gênero correspondente ao seu sexo biológico. Por exemplo, uma pessoa que apresenta dois cromossomos X, mas não se identifica com o gênero feminino; ou uma pessoa que apresenta cromossomos sexuais XY, mas não se identifica com o gênero masculino. Independentemente da orientação afetivo-sexual de cada um ou de como a pessoa se veste ou se comporta, é imprescindível que haja respeito entre todos. Uma sociedade justa deve combater quaisquer formas de discriminação.

Em certos insetos, como gafanhotos, baratas e percevejos, a fêmea possui dois cromossomos sexuais e o macho, apenas um. As fêmeas são XX (ou 2AXX) e os machos, X0 (ou 2AX0, em que o "0" indica que os machos possuem apenas um cromossomo sexual). Os machos são o sexo heterogamético, pois produzem espermatozoides com ou sem o cromossomo X. É o **sistema X0** de determinação do sexo (figura 6.2).

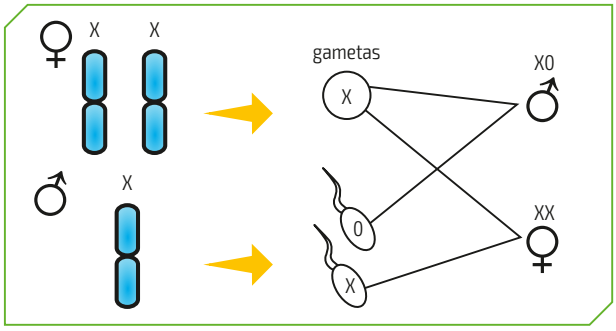
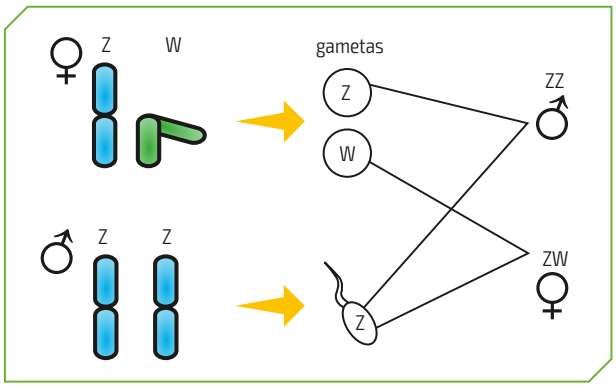


Figura 6.2 Determinação do sexo no sistema X0 (células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia).

Em muitas aves, mariposas, borboletas e peixes, a fêmea possui cromossomos diferentes (ZW), e o macho é homogamético (apresenta cromossomos iguais: ZZ). É o **sistema ZW** de determinação do sexo. No entanto, na galinha doméstica e em alguns répteis, não aparece o cromossomo W: as fêmeas são Z0 e o macho, ZZ (figura 6.3).



Ilustrações: Hiroe Sasaki/Arquivo da editora

Figura 6.3 Determinação do sexo no sistema ZW (células e cromossomos são microscópicos; cores fantasia).

2 Herança ligada ao sexo

Os cromossomos X e Y possuem pequenas regiões homólogas (pseudoautossômicas) nas extremidades que se emparelham na meiose, mas essas regiões correspondem a apenas 5% do Y – a maior parte não emparelha com o X nem realiza permutação. Na parte não homóloga do X estão situados vários genes que controlam diversas funções no organismo, entre elas a produção de pigmentos nas células da retina (que possibilitam a visão de cores) e a produção de uma proteína importante para a coagulação do sangue. Mutações nesses genes podem causar distúrbios, como o daltonismo (dificuldade de percepção de certas cores) e a hemofilia (dificuldade de coagulação do sangue).

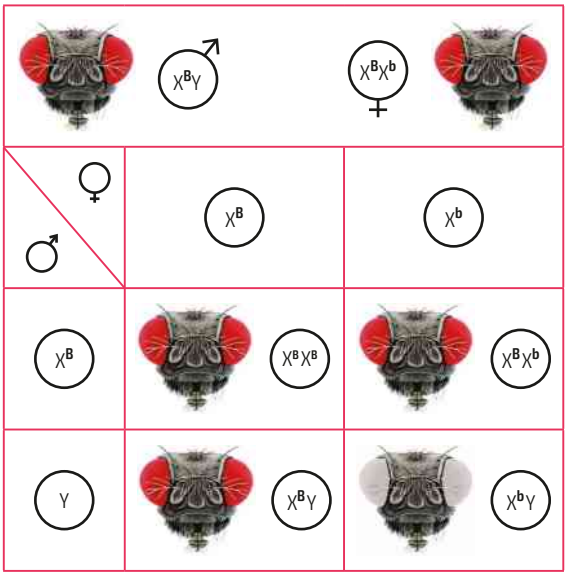
Os genes situados nessa região especial do cromossomo X, que não é homóloga ao cromossomo Y, são chamados **genes ligados ao sexo** ou **genes ligados ao cromossomo X**. O tipo de herança no qual estão envolvidos é chamado **herança ligada ao sexo** ou **herança ligada ao cromossomo X**. Os alelos desses genes podem aparecer em dose dupla nas mulheres; mas o homem (XY) só apresenta um deles. Por isso a mulher pode ser homozigótica ou heterozigótica para esses alelos; o homem é caracterizado como **hemizigótico** (do grego *hemi* = meio; *zygos* = par). Assim, se ele possuir um alelo para um caráter recessivo ligado ao sexo (como o daltonismo e a hemofilia), esse caráter irá se manifestar. Na mulher, esse caráter recessivo só se manifestará quando o alelo estiver em dose dupla. Essa situação acarreta a existência de um número maior de homens que de mulheres com caracteres recessivos ligados ao sexo.

História da ciência

Morgan e a herança ligada ao sexo

Em seus estudos com drosófilas, Thomas Morgan cruzou um macho de olhos mutantes brancos com uma fêmea selvagem de olhos vermelhos e obteve 100% dos filhotes, machos e fêmeas, com olhos vermelhos. Ao analisar a segunda geração – resultante do cruzamento de um macho e uma fêmea da geração obtida no primeiro cruzamento –, Morgan obteve machos de olhos brancos e de olhos vermelhos na mesma proporção. No entanto, não apareceram fêmeas de olhos brancos (figura 6.4).

Morgan concluiu que o gene para a cor dos olhos devia estar situado no cromossomo X. Como o alelo para vermelho é dominante e o alelo para branco é recessivo, as fêmeas de olhos brancos só podem se formar quando cruzamos machos de olhos brancos (**X^bY**) com fêmeas portadoras de pelo menos um alelo b (**X^BX^b**).



Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 6.4 Cruzamento de drosófilas (cerca de 3 mm de comprimento; cores fantasia) para uma característica ligada ao sexo.

Daltonismo

O termo *daltonismo* vem do nome do químico inglês John Dalton (1766-1844), que em 1794 publicou um estudo revelando que tinha dificuldade para distinguir certas cores. Esse problema também é conhecido como "cegueira parcial para cores".

A visão em cores depende de pigmentos (proteínas) sensíveis à luz presentes em três tipos de células especiais da retina (os cones), cada uma com um tipo de pigmento: os que são ativados principalmente pelo comprimento de onda da luz vermelha, os ativados pela luz verde e os ativados pela luz azul. A percepção de determinada cor depende da quantidade relativa de cada tipo de cone ativado.

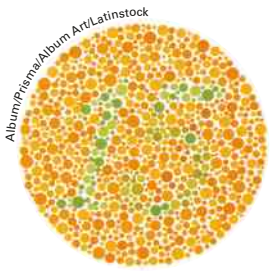
A dificuldade de percepção de cores pode ocorrer pela falta de um ou mais tipos de cones ou pela menor produção de alguns pigmentos. Um gene autossômico controla a produção de cones azuis, e a produção de cones verdes e vermelhos é controlada por genes no cromossomo X.

Em uma das formas de daltonismo, há dificuldade para distinguir entre certos tons de verde, amarelo e vermelho (figura 6.5).

Isso pode acontecer por causa de um alelo alterado de um gene do cromossomo X, o que leva à ausência de cones para a cor verde ou à menor produção de pigmentos desse cone. Essa forma de daltonismo é provocada por um alelo recessivo **d**, ligado ao sexo; seu alelo **D** é responsável pela visão normal.

Com essas informações, podemos montar o seguinte quadro:

Mulheres		Homens	
Genótipo	Fenótipo	Genótipo	Fenótipo
X^DX^D	Visão normal	X^DY	Visão normal
X^DX^d	Visão normal (portadora)	X^dY	Daltônico
X^dX^d	Daltônica		



Album/Prisma/Album Art/Latinstock

Figura 6.5 Em um tipo de daltonismo, a pessoa vê o vermelho como se fosse verde. Nesse caso, o daltônico vê o número 17 em vez do número 15. Esse teste, porém, não pode ser considerado conclusivo; é necessário diagnóstico médico para confirmar se alguém é mesmo daltônico e que tipo de daltonismo apresenta.

Vamos analisar como é a transmissão de um gene ligado ao sexo (exclusivo do cromossomo X).

Considere uma mulher com visão normal, mas portadora de um alelo para daltonismo (genótipo $\mathbf{X^DX^d}$). Imagine que seu marido também apresente percepção normal de cores (genótipo $\mathbf{X^DY}$). A **figura 6.6** mostra como poderiam ser os filhos desse casal. Observe que o homem daltônico herda essa característica sempre da mãe, e não do pai (que fornece apenas o cromossomo Y).

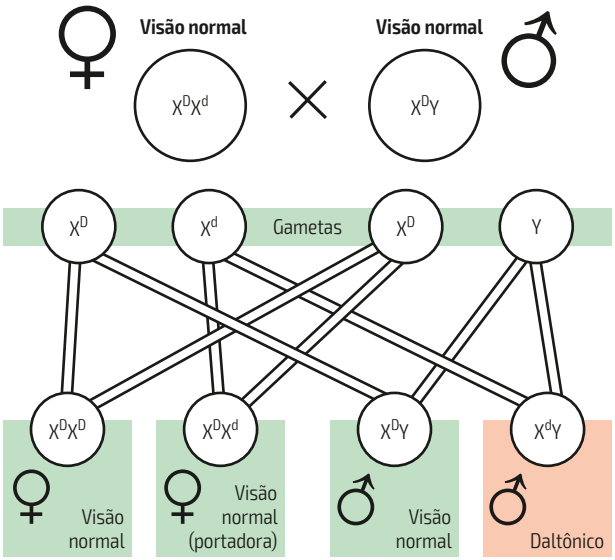


Figura 6.6 Exemplo de união que pode gerar um indivíduo daltônico.

Hemofilia

A hemofilia (do grego *haîma* = sangue; *philein* = = amigo) é uma doença genética em que a capacidade de coagulação do sangue é muito reduzida. A demora na coagulação provoca sangramentos prolongados em ferimentos ou hemorragias internas nas articulações e nos músculos.

Essa doença ocorre por causa da falta de um dos fatores de coagulação presentes no plasma. O tipo mais comum, responsável por cerca de 85% dos casos, é a **hemofilia A**, causada pela deficiência do fator VIII de coagulação. A síntese desse fator é controlada por um gene presente no cromossomo X. O alelo mutante e recessivo provoca a hemofilia pela ausência desse fator. Na **hemofilia B** está ausente o fator IX, também sintetizado por um gene no cromossomo X. Na **hemofilia C** está ausente o fator XI, sintetizado por um gene autossômico. A doença pode ser controlada administrando-se o fator que está ausente no sangue.

A herança da hemofilia A segue o mesmo padrão do daltonismo. A proporção de homens hemofílicos é de cerca de 6 em 10 mil.

Com essas informações, podemos montar o seguinte quadro para herança de hemofilia A:

Mulheres		Homens	
Genótipo	Fenótipo	Genótipo	Fenótipo
X^HX^H	Coagulação normal	X^HY	Coagulação normal
X^HX^h	Coagulação normal (portadora)	X^hY	Hemofílico
X^hX^h	Hemofílica		

Se um homem com hemofilia A ($\mathbf{X^hY}$) tiver filhos com uma mulher não hemofílica ($\mathbf{X^HX^H}$), nenhum dos filhos terá a doença, mas as filhas serão portadoras do alelo para a doença ($\mathbf{X^HX^h}$) e poderão ter filhos hemofílicos, mesmo que se unam a homens não hemofílicos (**figura 6.7**). Portanto, a hemofilia (e outros caracteres ligados ao sexo) transfere-se de um homem para o seu neto por meio de sua filha.

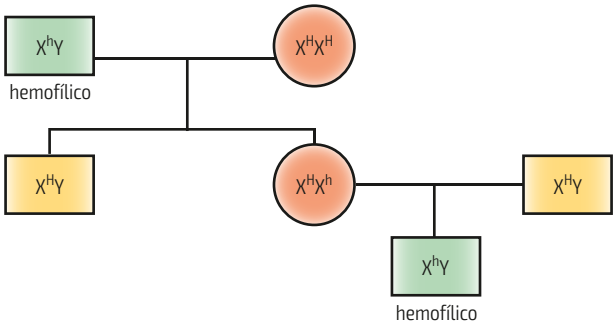


Figura 6.7 Hemofilia: exemplo de herança de avô para neto.

As mulheres hemofílicas são muito raras ($\mathbf{X^hX^h}$), pois as uniões capazes de produzi-las têm chance muito pequena de ocorrer. É necessário que um homem hemofílico ($\mathbf{X^hY}$, pouco comum) tenha filhos com uma mulher portadora ($\mathbf{X^HX^h}$), também pouco comum, para nascerem mulheres hemofílicas. As raras mulheres com a anomalia precisam receber tratamento intensivo com fator anti-hemofílico. Há casos em que é necessário inibir o ciclo menstrual com hormônios para evitar a perda de sangue na menstruação.

ATENÇÃO

Para mais informações, procure orientação médica.

Mosaico nas fêmeas dos mamíferos

Vimos no Volume 1 que um dos cromossomos X das células femininas aparece condensado, como um corpúsculo corado, chamado de cromatina sexual. Mary Lyon (1925-2014), geneticista britânica, elaborou em 1961 a hipótese de que a maior parte dos genes desse cromossomo não está em atividade na célula, ou seja, a cromatina sexual seria um cromossomo X com a maioria dos genes "desligados" ou inativos (hipótese de Lyon). Essa inativação, detalhada no próximo parágrafo, ocorre ao acaso, no início do desenvolvimento do embrião.

A inativação pode ocorrer com o cromossomo de origem paterna ou com o de origem materna. Desse modo, o indivíduo terá seu corpo formado por regiões com células com X paterno ativo misturadas a regiões com X materno ativo. Essa mistura funciona como uma espécie de mosaico.

Um exemplo desse mosaico é o de gatas malhadas de branco, amarelo e preto (gata calico; figura 6.8). Os alelos para amarelo e preto estão situados no cromossomo X. A gata malhada é heterozigota e tem regiões em que o X com alelo para preto é funcional misturadas com regiões em que é funcional o X com alelo para amarelo. O pelo branco depende de um gene autossômico (os machos não podem ter pelo preto e amarelo ao mesmo tempo, pois só possuem um cromossomo X; às vezes, eles podem apresentar duas cores – preto e branco ou amarelo e branco –, mas nunca três).

Linn Currie/Shutterstock/Glow Images

Figura 6.8 Gata calico (cerca de 50 cm de comprimento, fora a cauda).

Exercícios resolvidos

1. Uma mulher com visão normal, filha de pai daltônico, casa-se com um homem de visão normal. Qual a chance de nascer uma criança daltônica? E um menino daltônico? Se o casal já tem um menino, qual a chance de ele ser daltônico?

Resolução

O homem com visão normal é X^DY. Como a mulher com visão normal é filha de pai daltônico (X^dY), ela recebeu o X^d do pai e é X^DX^d. Os filhos serão:

	X^D	Y
X^D	X^DX^D	X^DY
X^d	X^DX^d	X^dY

Pelo quadro, vemos que a chance de nascer uma criança daltônica é 1/4. A chance de nascer um menino daltônico também é 1/4. Se já é sabido que nascerá um menino, não precisamos considerar a probabilidade de nascer uma menina. Nesse caso, a probabilidade de esse menino ser daltônico é 1/2. Se tivéssemos perguntado qual a chance de um menino ser daltônico, a resposta também seria 1/2.

2. Algumas pessoas possuem na hemácia o antígeno $\mathbf{X^g}$ e outras não. Esse antígeno é codificado por um alelo dominante ($\mathbf{X^{g+}}$) ligado ao cromossomo X. O alelo recessivo ($\mathbf{X^g}$) não produz o antígeno. Como serão os filhos de um homem portador do antígeno com uma mulher não portadora?

Resolução

O homem portador é $\mathbf{X^{g+}Y}$ e a mulher não portadora é $\mathbf{X^gX^g}$. Os filhos do casal serão $\mathbf{X^gY}$ (todos os homens não portadores) e $\mathbf{X^{g+}X^g}$ (todas as mulheres portadoras).

3. Um casal não hemofílico teve uma criança hemofílica. Determine o genótipo do casal e o sexo da criança.

Resolução

Se o casal não é hemofílico, o homem tem genótipo $\mathbf{X^HY}$. Como a criança é hemofílica, ela não recebeu o alelo recessivo do pai, pois este poderia lhe transmitir o cromossomo X com o alelo H ou o cromossomo Y. Portanto, recebeu o cromossomo Y do pai e o cromossomo $\mathbf{X^h}$ da mãe e é um menino. Sua mãe é heterozigota e tem o genótipo $\mathbf{X^HX^h}$.

3 Outros tipos de herança relacionada ao sexo

Há outros dois tipos de herança relacionada ao sexo: a relacionada aos genes exclusivos do cromossomo Y, chamada **holândrica** (do grego *holos* = todo; *andros* = homem) ou **restrita ao sexo**, e aquela relacionada a genes autossômicos cujos efeitos podem ser influenciados pelo sexo do indivíduo.

Herança ligada ao cromossomo Y

O cromossomo Y apresenta menos de cem genes. Um deles, chamado de região determinadora do sexo no cromossomo Y ou de SRY (do inglês, *sex-determining region Y*), promove a transformação de uma gônada indiferenciada do embrião em testículo. Este produz testosterona, que, em ação com outros hormônios, promove o desenvolvimento dos órgãos genitais masculinos e de outras características masculinas. Sem cromossomo Y, ou mesmo com a presença dele, mas com um SRY não funcional (que possa ter sofrido uma mutação), o embrião será feminino.

Um exemplo de herança holândrica é um tipo de infertilidade masculina em virtude de mutações em um gene exclusivo do Y (gene USP9Y, do inglês *ubiquitin-specific protease 9Y*).

Veja a posição desses dois genes na figura 6.9.

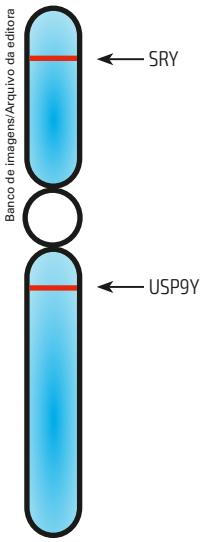


Figura 6.9 Esquema representando o cromossomo Y do homem e a posição dos genes SRY e USP9Y.

Herança influenciada pelo sexo

O sexo de um indivíduo pode mudar a expressão de um gene autossômico. Um exemplo de **caráter influenciado pelo sexo** é a calvície nos humanos. Esse caráter pode ser consequência de fatores ambientais (certas doenças levam à queda de cabelo), mas, em geral, é hereditário.

Na presença de testosterona, o alelo para calvície age como dominante. Em concentrações baixas desse hormônio, o alelo age como recessivo. Por isso, a presença de um alelo para calvície já é suficiente para que o homem seja calvo. Na mulher são necessários dois alelos para que o fenótipo se manifeste, e geralmente o efeito é limitado a uma diminuição do diâmetro dos fios e da quantidade de fios de cabelo.

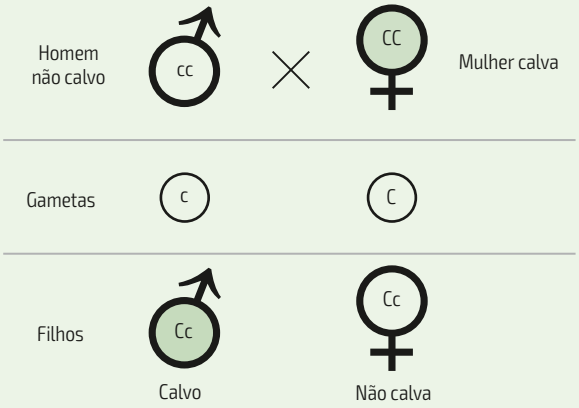
Exercício resolvido

Um homem não calvo casa-se com uma mulher calva. Como serão seus filhos e filhas?

Resolução

Vamos chamar **C** o alelo para a calvície e **c** o alelo para a não calvície. Um homem calvo pode ser **CC** ou **Cc**; um não calvo, **cc**. Uma mulher calva será **CC**; uma não calva, **Cc** ou **cc**. Veja o esquema ao lado.

Portanto, todos os homens serão calvos e nenhuma mulher será calva.



4 Herança materna

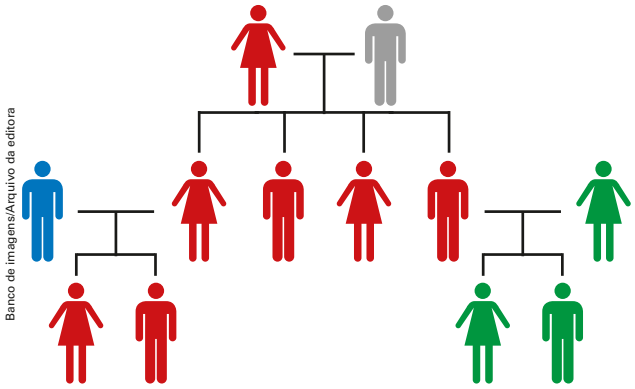
No Volume 1, vimos que mitocôndrias (organelas que participam da respiração aeróbia nos eucariontes) e cloroplastos (organelas que realizam a fotossíntese em eucariontes) possuem um DNA próprio, contendo informações genéticas para a síntese de parte de suas proteínas e de seu RNA. Essas organelas podem se duplicar, passando então a informação genética para as células-filhas e para seus descendentes. Estamos, portanto, diante de um tipo de **herança extranuclear** (ou **extracromossômica**), chamada **herança organelar**.

No DNA das mitocôndrias há alguns genes que não estão presentes no núcleo da célula (são exclusivos das mitocôndrias). Esse DNA corresponde a cerca de 0,5% do DNA de uma célula somática.

Como na formação da célula-ovo o espermatozoide contribui apenas com o núcleo, as mitocôndrias do embrião são todas de origem materna, vindas do óvulo. À medida que o zigoto se divide, as mitocôndrias também se dividem e passam para todas as células do embrião.

Portanto, tanto um homem quanto uma mulher herdam os genes das mitocôndrias de sua mãe, e não de seu pai (se, eventualmente, uma mitocôndria do espermatozoide estiver presente na célula-ovo, ela estará em muito menor número diante das mitocôndrias maternas). Por isso, esse tipo de herança é chamado **herança mitocondrial** ou **herança materna** (figura 6.10).

O DNA da mitocôndria está sujeito a mutações, que podem levar ao desenvolvimento de doenças. Essas doenças são de origem exclusivamente materna. Como a mitocôndria é responsável pela produção de energia na respiração aeróbia, esses problemas costumam afetar mais as células nervosas e musculares, que consomem grande quantidade de energia.



Banco de imagens/Arquivo da editora

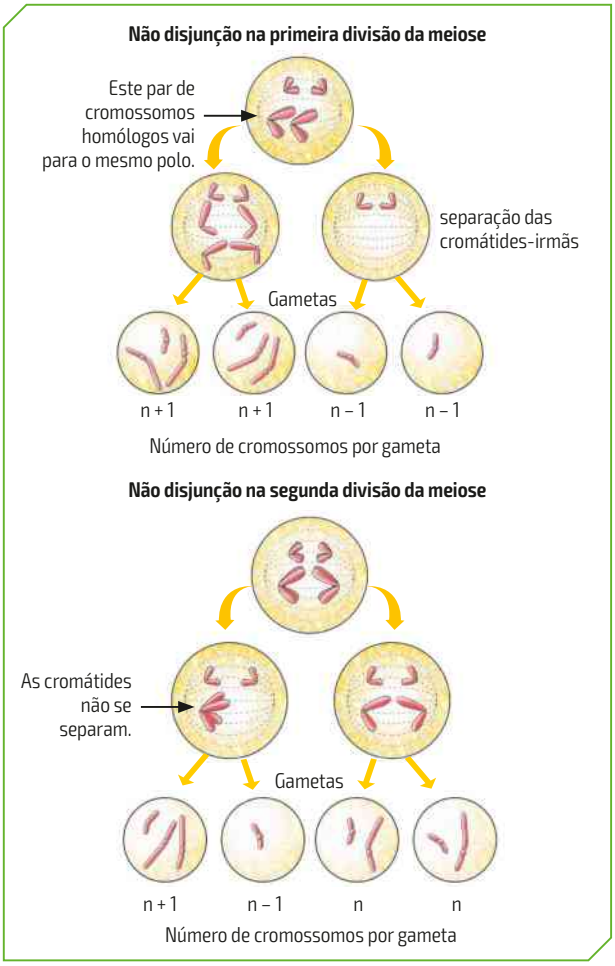
Figura 6.10 Esquema exemplificando o padrão de herança do DNA mitocondrial.

Dependendo da etapa do metabolismo afetada, pode haver falta de coordenação motora, demência, fraqueza muscular, problemas cardíacos, entre outros problemas com gravidade variável. Na neuropatia óptica de Leber, descrita pelo médico alemão Theodore Leber (1840-1917), no século XIX, há degeneração do nervo óptico, que leva à cegueira.

5 Alterações nos cromossomos sexuais

Nas células das fêmeas de mamíferos pode-se encontrar a cromatina sexual. Essa cromatina não está presente no núcleo das células masculinas.

Com o exame da cromatina sexual é possível identificar diversas anomalias sexuais – como a síndrome de Turner, a de Klinefelter e a do poli-X –, que podem ocorrer por causa de uma não disjunção de cromossomos durante a meiose, isto é, em vez de cada cromossomo sexual migrar para um dos polos, ambos migram para o mesmo polo (figura 6.11).



Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 6.11 Esquemas da ocorrência de não disjunção.

Síndrome de Turner

Essa síndrome, descrita em 1938 pelo médico estadunidense Henry Turner (1892-1970), resulta, na maioria dos casos, de uma não disjunção durante a formação do espermatozoide, e a pessoa afetada é uma mulher com monossomia do cromossomo X (figura 6.12). O cariótipo é 45, X (45 cromossomos com falta de um cromossomo X; portanto, não apresenta cromatina sexual). Sua ocorrência está em torno de 1 em 2 500 meninas.

A portadora apresenta baixa estatura, ovários ausentes, pescoço alado (com pregas cutâneas bilaterais), malformação das orelhas, maior frequência de problemas renais e cardiovasculares, e é quase sempre estéril. O médico pode indicar tratamento hormonal a partir da puberdade.

Comparação entre célula de mulher com dois cromossomos X e célula de mulher Turner

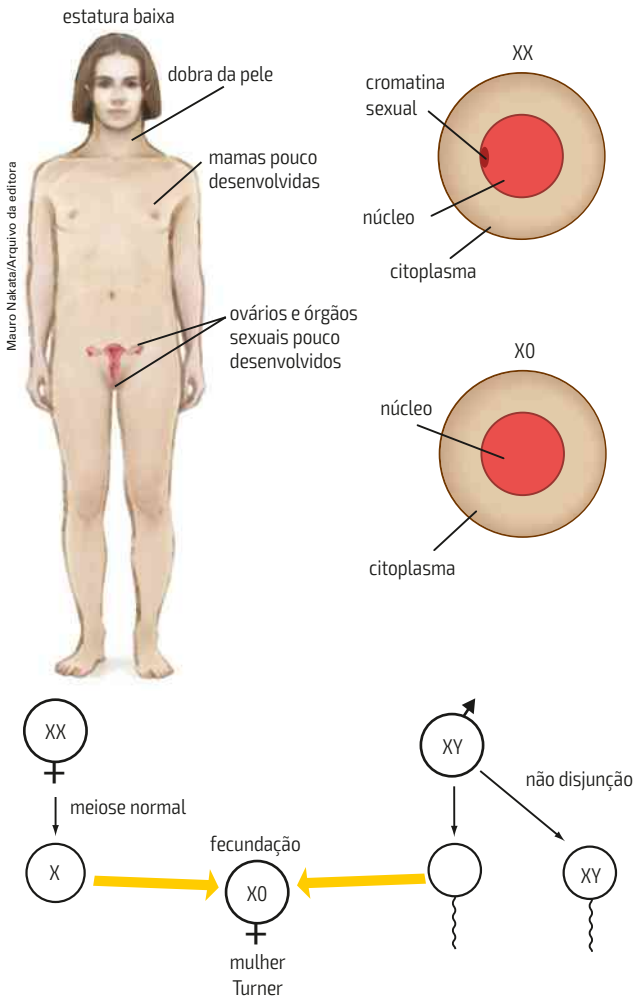


Figura 6.12 Esquema demonstrando formação da mulher Turner. Observe a ausência de cromatina sexual em suas células. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; células são microscópicas; cores fantasia.)

Síndrome de Klinefelter

Essa síndrome, descrita pelo médico estadunidense Harry Klinefelter (1912-1990) em 1942, ocorre em cerca de 1 a cada 600 nascimentos de meninos. A pessoa possui um cromossomo X extra (47, XXY), resultante, em geral, de uma não disjunção na formação do óvulo (figura 6.13). Embora apresente cromatina sexual, o indivíduo é do sexo masculino (este é determinado pelo cromossomo Y, mesmo quando acompanhado de mais de um cromossomo X). O material genético extra do cromossomo X impede o funcionamento normal dos testículos e reduz o nível de testosterona. A fertilidade é baixa, com nenhuma ou pouca produção de espermatozoides (os testículos são pouco desenvolvidos) e, às vezes, há desenvolvimento exagerado das glândulas mamárias (ginecomastia). A altura é acima da média. O tratamento hormonal pode ajudar a diminuir esses sintomas, mas não a baixa fertilidade.

Comparação entre células com número diferente de cromossomos X

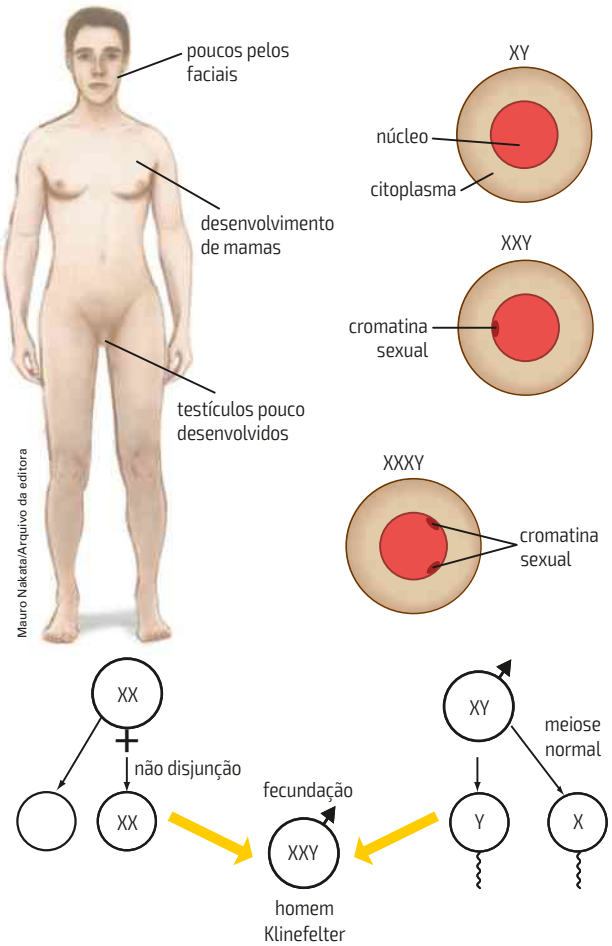


Figura 6.13 Esquema demonstrando formação de homem Klinefelter. Observe a presença de uma cromatina sexual em homem XXY e de duas cromatinas sexuais em homem XXXY. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Atividades

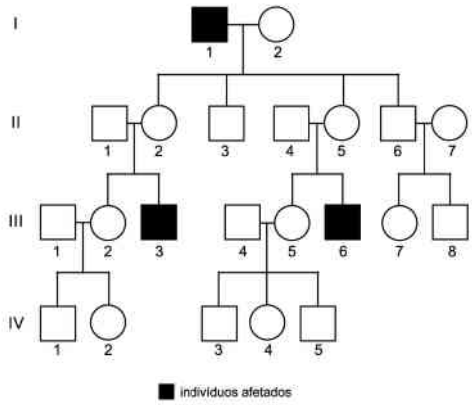
1. Sabendo que as mulheres têm dois cromossomos X em cada célula somática e os homens apenas um, um estudante perguntou ao professor por que a hemofilia é mais comum entre homens se o gene responsável por essa característica está no cromossomo X. Que explicação você daria a esse estudante?

2. Como podem ser os próximos filhos de um casal formado por uma mulher e um homem não hemofílicos, mas que já tiveram um filho com a doença?

3. Como se explica o fato de certos caracteres passarem do pai para as filhas e da mãe para os filhos?

4. Nos peixes conhecidos como *guppies* (gênero *Lebistes*), muito comum em aquários, a determinação do sexo é feita pelo sistema XY e um alelo mutante, presente apenas no cromossomo Y, faz aparecer uma mancha na nadadeira dorsal. Como serão os filhotes do cruzamento de um macho manchado com uma fêmea?

5. (Uerj) No heredograma a seguir, pode-se verificar a ocorrência de uma determinada síndrome genética.



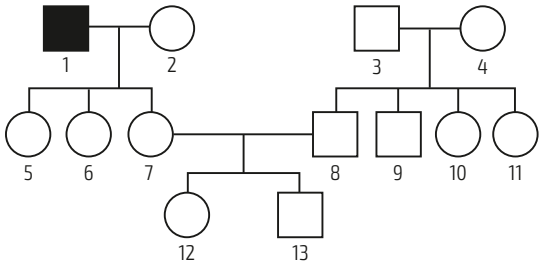
Identifique os tipos de herança genética associados a essa síndrome em relação a dois fatores: padrão de dominância e sexo. Em seguida, cite duas características representadas no heredograma que explicam esses tipos de herança genética.

6. (Fuvest-SP) A hemofilia é uma doença de herança recessiva ligada ao cromossomo X. Um homem que trabalha em uma usina nuclear teve um filho hemofílico. Sua mulher concluiu que a doença do menino foi consequência da radiação que o marido recebeu na época da fecundação. Ela tem ou não razão?

7. (UFRJ) Em uma família, o pai possui uma doença determinada por um alelo dominante de um gene localizado no cromossomo X. A mãe possui fenótipo normal quanto a essa doença. O casal tem quatro filhos, dois homens e duas mulheres.

Apresente o heredograma dessa família usando os símbolos a seguir.

8. (Fuvest-SP) No heredograma abaixo, o símbolo representa um homem afetado por uma doença genética rara, causada por mutação num gene localizado no cromossomo X. Os demais indivíduos são clinicamente normais.



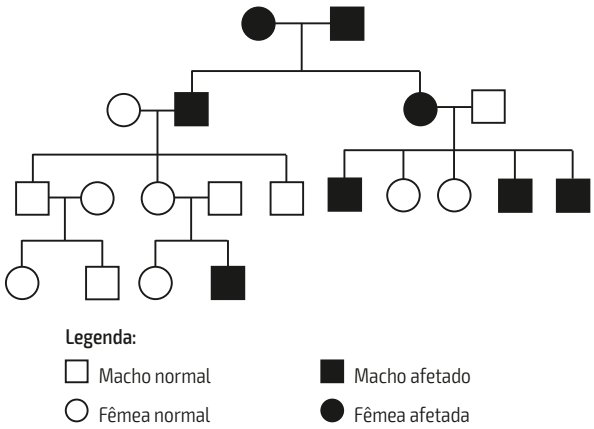
As probabilidades de os indivíduos **7**, **12** e **13** serem portadores do alelo mutante são, respectivamente:

a) 0,5; 0,25 e 0,25.
b) 0,5; 0,25 e 0.
c) 1; 0,5 e 0,5.
X d) 1; 0,5 e 0.
e) 0; 0 e 0.

9. (Unifor-CE) Em determinada espécie de ave, o gene A condiciona plumagem negra, enquanto seu alelo A1 condiciona plumagem amarela. Aves heterozigóticas para esse caráter apresentam plumagem cinzenta. Sabendo-se que esse caráter é ligado ao sexo e que nas aves o sexo heterogamético é o feminino, espera-se que o cruzamento entre um macho amarelo e uma fêmea negra produza na descendência:

a) somente machos negros.
b) somente fêmeas amarelas.
c) somente machos cinzentos.
X d) 100% dos machos cinzentos e 100% das fêmeas amarelas.
e) 100% dos machos negros e 100% das fêmeas amarelas.

10. (UFF-RJ) O heredograma abaixo representa a incidência de uma característica fenotípica em uma família.



Pela análise dessas relações genealógicas, pode-se concluir que a característica fenotípica observada é transmitida por um tipo de herança:

a) dominante e ligada ao cromossomo X.
X b) recessiva e ligada ao cromossomo X.
c) ligada ao cromossomo Y.
d) autossômica recessiva.
e) autossômica dominante.

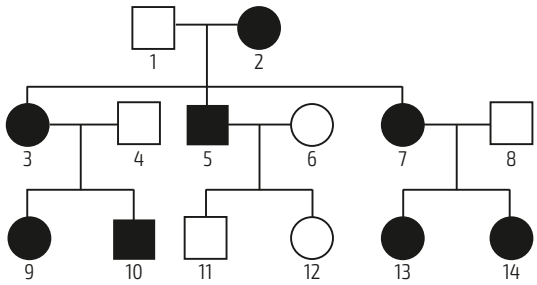
11. (IFPE) Considerando que o daltonismo na espécie humana é uma característica determinada por um gene recessivo e ligado ao sexo, assinale a única alternativa correta referente a um casal que, apesar de possuir visão normal para cores, tem uma criança daltônica.

a) Essa criança é do sexo feminino, e o gene para o daltonismo lhe foi transmitido pelo pai.
b) Essa criança é do sexo masculino, e o gene para o daltonismo lhe foi transmitido pelo pai.
c) Essa criança é do sexo feminino, e o gene para o daltonismo lhe foi transmitido pela mãe.
X d) A criança é do sexo masculino, e o gene para o daltonismo lhe foi transmitido pela mãe.
e) Tanto o pai como a mãe podem ter transmitido o gene para o daltonismo a essa criança; mas, apenas com esses dados, nada podemos afirmar quanto ao sexo dela.

12. (Uece) Para que um casal cujo histórico familiar envolve a hemofilia possa vir a ter um filho hemofílico é necessário somente que:

a) a mãe seja normal e o pai portador do gene para hemofilia.
b) o pai e a mãe sejam portadores do gene para hemofilia.
X c) o pai seja normal e a mãe portadora do gene para a hemofilia.
d) o pai e a mãe sejam normais homozigotos para o gene da hemofilia.

13. (UEMG) A neuropatia óptica hereditária de Leber (LHON) é uma disfunção do nervo óptico por mutações no DNA, com um modo de transmissão não mendeliano. As formas esporádicas e casos isolados de LHON são numerosos. A LHON afeta geralmente adultos jovens, com início numa idade média situada entre 18 e 35 anos. A perda de visão ocorre geralmente num dos olhos, de forma súbita, levando a uma perda rápida de acuidade visual em menos de uma semana ou, de forma progressiva, ao longo de poucos meses. O heredograma, a seguir, apresenta um caso familial de LHON.



As informações do texto e do heredograma, acima fornecidas, e outros conhecimentos que você possui sobre o assunto permitem afirmar corretamente que:

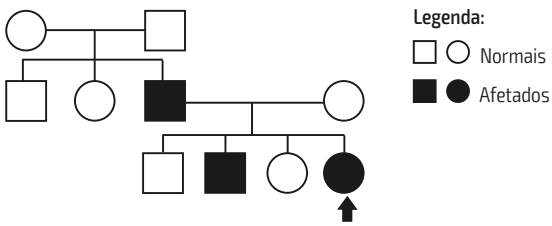
a) o padrão de transmissão do gene é característico para herança recessiva e ligada ao sexo.
b) a manifestação da LHON pode ser explicada pela ausência do gene nas crianças.
X c) o heredograma evidencia a LHON como um caso de herança mitocondrial.
d) um casal com fenótipos como 7 × 8 têm 50% de probabilidade de gerar uma criança com o gene para a LHON.

14. (UEL-PR) A hemofilia é uma doença hereditária recessiva ligada ao cromossomo sexual X, presente em todos os grupos étnicos e em todas as regiões geográficas do mundo. Caracteriza-se por um defeito na coagulação sanguínea, manifestando-se através de sangramentos espontâneos que vão de simples manchas roxas (equimoses) até hemorragias abundantes.

Com base no enunciado e nos conhecimentos sobre o tema, é correto afirmar.

a) Casamento de consanguíneos diminui a probabilidade de nascimento de mulheres hemofílicas.
b) Pais saudáveis de filhos que apresentam hemofilia são heterozigotos.
c) A hemofilia ocorre com a mesma frequência entre homens e mulheres.
d) As crianças do sexo masculino herdam o gene da hemofilia do seu pai.
X e) Mulheres hemofílicas são filhas de pai hemofílico e mãe heterozigota para este gene.

15. (UFSM-RS)



A figura representa o heredograma de uma família em que ocorre o daltonismo. A pessoa identificada com uma seta se trata de:

X a) uma mulher afetada que tem os dois cromossomos X com o gene recessivo para daltonismo.
b) uma mulher afetada que tem apenas um dos cromossomos X com o gene recessivo para daltonismo.
c) um homem que terá descendentes afetados, já que o daltonismo está ligado ao cromossomo X.
d) uma mulher que não terá descendentes afetados pelo daltonismo, o qual está ligado ao cromossomo Y.
e) um homem, já que não existem mulheres afetadas, pois o daltonismo está ligado ao cromossomo Y.

16. (Mack-SP) Um homem daltônico e destro, filho de pai canhoto, casa-se com uma mulher de visão normal e canhota. O casal tem uma criança do sexo masculino, daltônica e destra. Considerando que o daltonismo é condicionado por um gene recessivo ligado ao X e o uso da mão esquerda é determinado por um gene autossômico recessivo, é correto afirmar que:

a) a criança herdou o gene para o daltonismo do pai.
b) a mulher é heterozigota para ambas as características.
c) todos os filhos do sexo masculino desse casal serão daltônicos.
X d) esse casal pode ter filhas daltônicas.
e) todas as crianças desse casal serão destras.

17. (Uerj) A hemofilia A, uma doença hereditária recessiva que afeta o cromossoma sexual X, é caracterizada pela deficiência do fator VIII da coagulação. Considere a primeira geração de filhos do casamento de um homem hemofílico com uma mulher que não possui o gene da hemofilia.
As chances de que sejam gerados, desse casamento, filhos hemofílicos e filhas portadoras dessa doença, correspondem, respectivamente, aos seguintes percentuais:

X a) 0% – 100%
b) 50% – 50%
c) 50% – 100%
d) 100% – 100%

18. (UFPE) Foram analisados dados de famílias nas quais ocorriam casos de uma determinada anomalia e verificou-se que, em todas, os casamentos entre homens afetados e mulheres normais culminavam, sempre, em proles nas quais todas as fêmeas eram afetadas e todos os machos eram normais. De posse desses dados, pode-se concluir que a referida moléstia é condicionada por um alelo:

a) dominante autossômico.
b) autossômico recessivo.
c) dominante ligado ao Y.
d) recessivo ligado ao X.
X e) dominante ligado ao X.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham uma das atividades abaixo para realizar.

a) Pesquisem em livros, CD-ROMs, na internet, etc. quais técnicas existem para a escolha do sexo de animais como bois e cavalos e suas aplicações práticas. Se possível, convidem um veterinário, agrônomo ou outro profissional da área para dar uma palestra na escola sobre esse tema. Não se esqueçam de preparar um roteiro de perguntas para o convidado. Perguntem como é o cotidiano profissional, quais são os desafios e como são as atividades mais gratificantes.

b) Nas técnicas de reprodução assistida é possível, por meio de um exame genético, detectar o sexo da criança antes de implantar o embrião no útero. Com auxílio dos professores de Filosofia, discutam as questões éticas envolvidas nesse processo. Pesquisem também qual a posição do Conselho Federal de Medicina a esse respeito.

Fique de olho!
Sempre que houver acesso à internet, uma opção para divulgar os resultados das pesquisas fora da escola é publicar textos, vídeos e fotos em *sites* ou redes sociais. Isso pode abrir espaço para trocas de informações e novas ideias sobre o tema.

CAPÍTULO 7

As aplicações da genética molecular

Martin Oeggerli/SPL/Latinstock

Óvulo de rato recebe material genético de outra espécie em técnica de genética molecular. (Microscopia óptica; aumento de aproximadamente 550 vezes.)

A genética molecular estuda a estrutura e função dos genes no nível das moléculas. Nessa área foi possível desenvolver novas biotecnologias baseadas na manipulação do DNA. Um exemplo são as plantas, as bactérias e os animais transgênicos. A biotecnologia utiliza seres vivos para produzir substâncias importantes para o ser humano, como medicamentos; para melhorar as características de animais e plantas ou para obter organismos com características novas. Entender essas técnicas e as potenciais consequências de suas aplicações é fundamental para participar de questões importantes na sociedade atual.

- *Você sabe o que são organismos transgênicos ou geneticamente modificados?*
- *Como são feitos os testes de DNA que ajudam na solução de crimes?*
- *Como você acha que é feito um teste de paternidade?*

1 A tecnologia do DNA recombinante

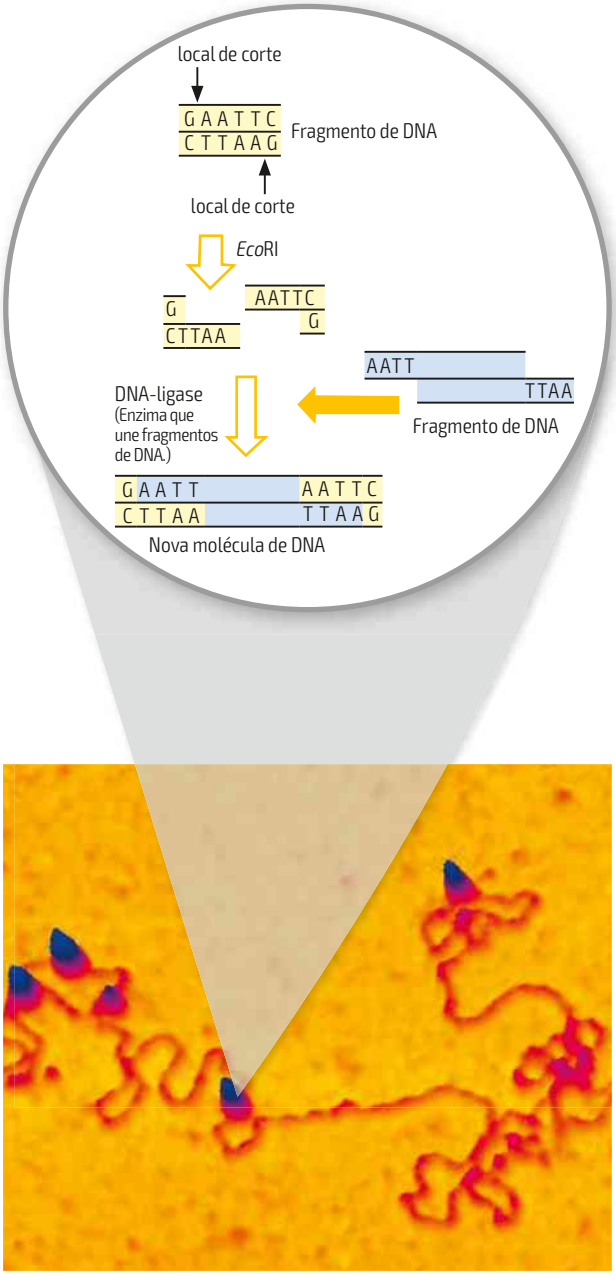
O conjunto de técnicas conhecido como **engenharia genética** ou **tecnologia do DNA recombinante** permite, entre outras coisas, transplantar genes de uma espécie para outra e criar, assim, uma molécula de DNA diferente das originais, que não existia na natureza. Essa molécula, formada pela combinação de duas moléculas diferentes de DNA, é chamada **DNA recombinante**.

A grande vantagem dessa técnica é a rapidez e a precisão da produção de uma substância ou característica desejada. Antes, dependíamos da seleção de mutações, ocorridas ao acaso; dos resultados de cruzamentos artificiais; ou da extração de substância normalmente produzida por algum organismo. Esses procedimentos são, em geral, demorados e a característica ou substância obtida nem sempre é, exatamente, a desejada.

Recorte do DNA: enzimas de restrição

Como vimos no volume 2 desta coleção, os vírus bacteriófagos atacam bactérias, reproduzem-se no interior delas e as destroem no fim do ciclo. Algumas bactérias se defendem contra esse ataque produzindo enzimas especiais, **endonucleases de restrição** (do grego *endon* = interno), também chamadas **enzimas de restrição**. Essas enzimas cortam o DNA do vírus em pontos específicos e impedem sua reprodução.

A enzima *Eco*RI, por exemplo, produzida pela bactéria *Escherichia coli*, foi a primeira a ser descoberta. O nome dela vem das iniciais de *Escherichia coli*, mais **R** de restrição e o **I** indica que ela foi a primeira enzima a ser descoberta. A *Eco*RI reconhece a sequência de bases GAATTC e corta as duas cadeias de uma molécula de DNA entre o G e o A (figura 7.1). Como essa sequência se repete algumas vezes ao longo do DNA viral, este é cortado em vários fragmentos. Outros organismos também apresentam essa sequência repetidas vezes em seu genoma. Dessa forma, a *Eco*RI pode ser usada como uma "tesoura" que corta o DNA dos seres vivos em partes menores.

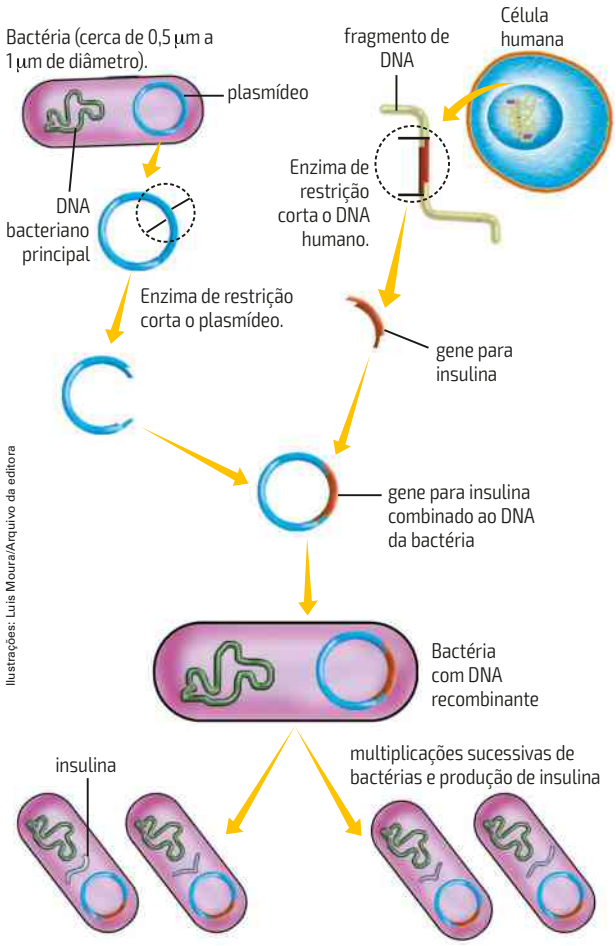


Torunn Berge/SPL/Latinstock

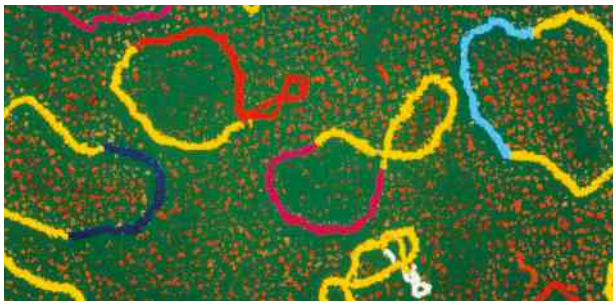
Figura 7.1 Esquema da ação das enzimas de restrição. Na foto, moléculas da enzima de restrição *Eco*RI (em azul) aderidas a um fragmento de DNA bacteriano (em vermelho; imagem ao microscópio eletrônico; aumento de cerca de 60 mil vezes; imagem colorizada por computador).

Clonagem do DNA e construção do DNA recombinante

Para formar um DNA recombinante, usamos enzimas de restrição que cortam pontos específicos no DNA de um organismo. O trecho extraído é então inserido na fita de DNA de um organismo diferente. Ao se multiplicar, esse organismo passa a fazer várias cópias idênticas do DNA estranho. Observe o exemplo da figura 7.2.



Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora



Dr. Gopal Murti/SPL/Latinstock

Figura 7.2 Esquema simplificado da produção de insulina humana por bactérias (os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia). Na foto, plasmídeos (em amarelo) com moléculas de DNA (em várias cores) inseridas por engenharia genética. (Imagem vista ao microscópio eletrônico; aumento de cerca de 150 mil vezes; imagem colorizada por computador.)

As bactérias possuem, além do DNA principal, um pequeno DNA circular, chamado **plasmídeo**, no qual estão, com frequência, genes que dão a elas resistência a antibióticos. No processo para formar um DNA recombinante, é comum utilizarmos o plasmídeo como um vetor (transportador) de genes. Esse plasmídeo tem apenas uma cópia da sequência de reconhecimento da enzima de restrição. Assim, quando se usa uma enzima de restrição, ele não se fragmenta, apenas abre o anel de DNA onde está a sequência de reconhecimento.

Com o anel de DNA aberto, é possível usar uma outra enzima para juntar os pedaços de DNA de diferentes origens. A enzima que promove essa ligação dos fragmentos de DNA é chamada **DNA-ligase**.

O fragmento de DNA estranho pode ser originário de uma célula humana, por exemplo, e ser responsável por transcrever determinada proteína. Ele deve ser obtido com a mesma enzima de restrição que foi usada para abrir o plasmídeo. Isso garante que as extremidades do fragmento de DNA estranho sejam complementares às do plasmídeo cortado.

Depois que recebe o fragmento de DNA de outro organismo, o plasmídeo torna-se um DNA recombinante, isto é, uma molécula formada pela união de duas ou mais moléculas de DNA não encontradas juntas na natureza. O DNA recombinante é então introduzido na bactéria, que passa a produzir, por exemplo, uma proteína humana.

Quando a bactéria se reproduz, o DNA recombinante também se replica e passa para as novas bactérias. Esse processo de produção de cópias idênticas de DNA é chamado **clonagem de DNA**, **clonagem molecular** ou **clonagem gênica**. O resultado é a formação de uma colônia de bactérias capazes de sintetizar, por exemplo, proteínas humanas. Como é relativamente simples manter a bactéria se reproduzindo em laboratório, é possível produzir essas substâncias em escala comercial.

Reveja a figura 7.2. Ela exemplifica como essa técnica é aplicada para a produção de insulina, hormônio secretado pelo pâncreas e que controla a utilização de glicose pela célula. Os indivíduos portadores de diabete tipo I não produzem esse hormônio e, por isso, apresentam deficiência na utilização da glicose, o que traz sérias consequências para a saúde.

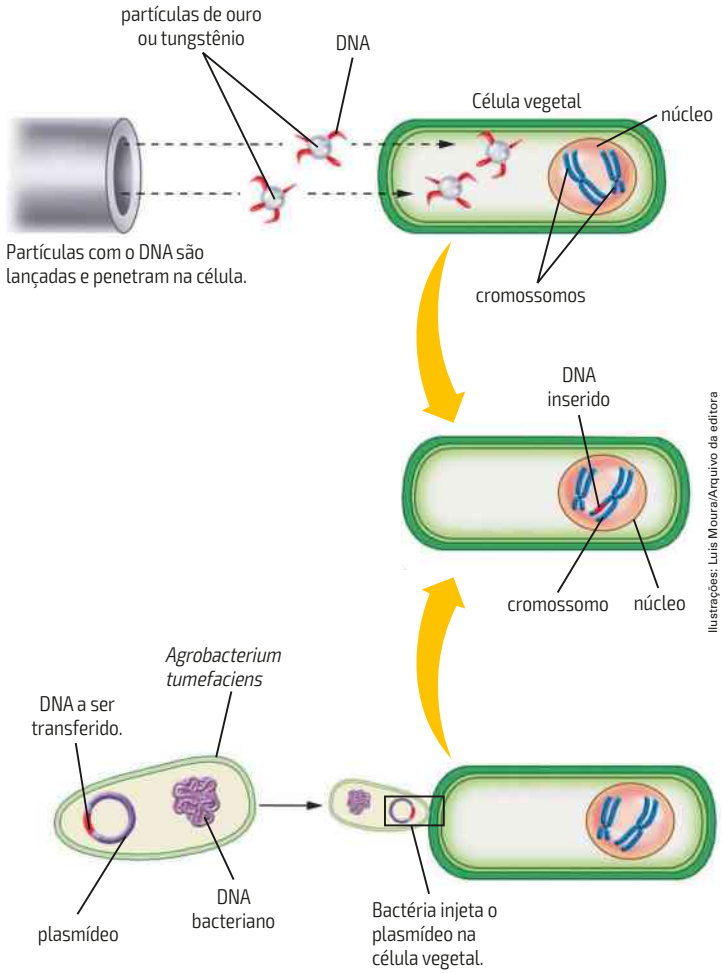
Antes da engenharia genética, a insulina utilizada pelos diabéticos tinha origem suína e bovina. Mas o uso de insulina animal implicava um tempo prolongado de produção e purificação do hormônio, pois eram necessárias toneladas de pâncreas de porcos e bois para garantir a produção comercial dessa substância. Além disso, como a insulina animal não é exatamente igual à humana, ela provocava reação alérgica em alguns pacientes.

Além da insulina, são produzidos outros hormônios, como o hormônio do crescimento, a eritropoetina (que estimula a produção de glóbulos vermelhos) e diversos tipos de vacina, como a contra a hepatite B. Os fatores obtidos por engenharia genética estão livres da contaminação por vírus que podem estar presentes no plasma humano.

Os organismos que tiveram seu material genético modificado por qualquer técnica de engenharia genética (DNA recombinante) são conhecidos como **organismos geneticamente modificados** (**OGM**). Eles também são conhecidos como **organismos transgênicos** (do latim *trans* = através de). As duas expressões não são exatamente iguais, já que o termo "transgênico" deve ser usado para um tipo especial de organismo geneticamente modificado: aquele em que o material genético introduzido veio de outra espécie. As bactérias com o DNA recombinante são um exemplo de transgênicos. Hoje em dia, além de bactérias, há também muitos animais e plantas transgênicos.

Há várias técnicas para se introduzir um gene em uma célula: ela pode ser infectada com vírus que levam o gene em questão; com micropipetas que perfuram a membrana e injetam o gene na célula; com uma espécie de "canhão" de genes que atira partículas microscópicas de ouro ou tungstênio com moléculas de DNA aderidas à superfície dessas partículas (técnica conhecida como biobalística); com auxílio da *Agrobacterium tumefaciens*, bactéria que tem capacidade natural de transferir parte de seu material genético para o genoma de algumas plantas (figura 7.3).

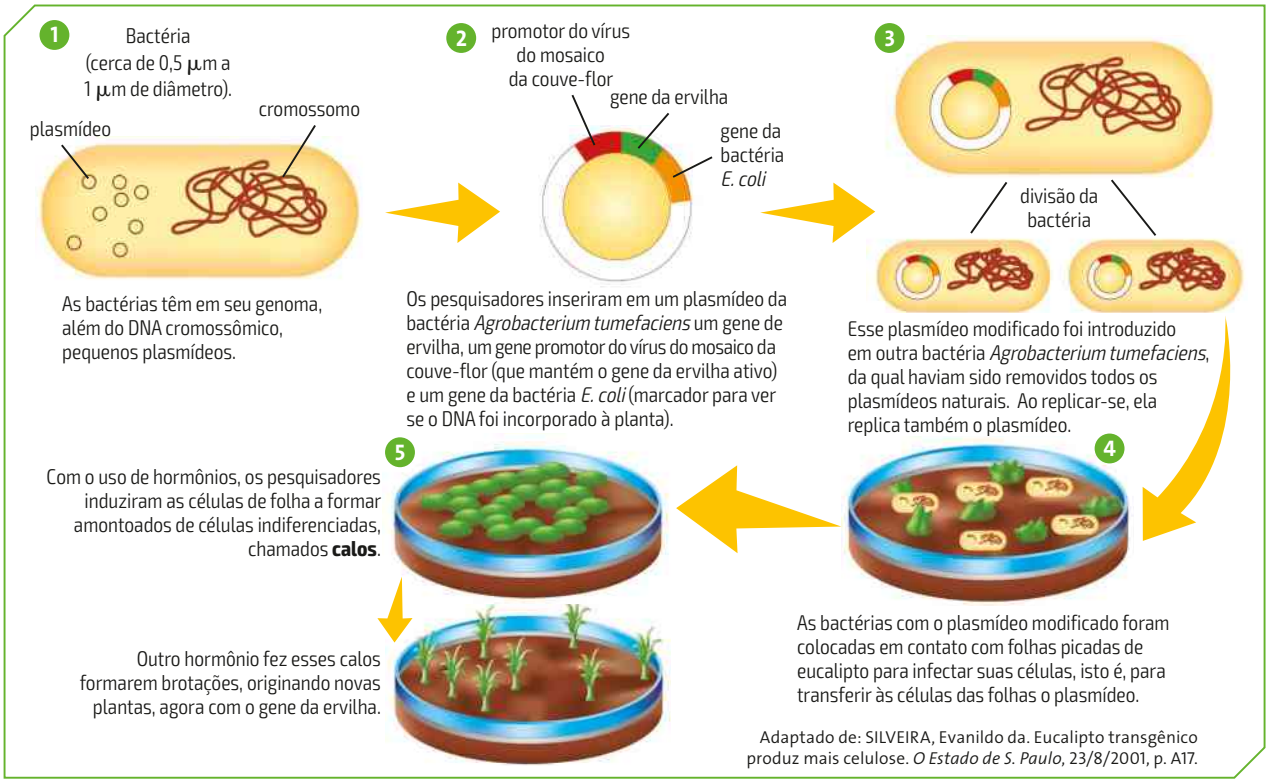
Mauro Fermariello/SPL/Latinstock



Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 7.3 Duas técnicas utilizadas para introduzir genes nas células: a biobalística e a bactéria *Agrobacterium tumefaciens* (cerca de 0,5 µm a 1 µm de diâmetro). Na foto, tecidos sendo preparados para receber DNA na técnica de biobalística. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Veja na figura 7.4 como pesquisadores da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), da Universidade de São Paulo, introduziram um gene de ervilha em células de eucalipto, criando um eucalipto transgênico que produz mais biomassa e, portanto, mais celulose.



Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 7.4 Pesquisadores usam bactérias para inserir genes de ervilha em células de eucalipto. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

História da ciência

A descoberta das enzimas de restrição

Na década de 1960, os cientistas perceberam que recombinações do DNA ocorriam naturalmente no organismo, em alguns casos específicos, como quando rupturas no DNA por radiação ultravioleta eram reparadas. Começava então uma busca pela enzima capaz de promover esse "conserto".

Em 1967, o pesquisador de origem tcheca Martin Gellert (1929-) e outros três grupos de pesquisadores, independentemente, purificaram a enzima DNA-ligase.

Em 1968, o microbiologista suíço Werner Arber (1929-), o químico estadunidense Daniel Nathans (1928-1999) e o médico estadunidense Hamilton Smith (1931-) descobriram as enzimas de restrição.

Em 1973, os estadunidenses Stanley Cohen (1935-) e Herbert Boyer (1936-) tentavam compreender como os plasmídeos podiam tornar as bactérias resistentes a antibióticos. Em conjunto com outros pesquisadores, eles usam a enzima de restrição *Eco*RI para cortar o DNA de dois plasmídeos, cada um capaz de conferir resistência a um antibiótico. Após unir os plasmídeos a outro DNA, com auxílio da DNA-ligase, introduzem a nova molécula na bactéria *Escherichia coli* e conseguem, com isso, uma bactéria resistente aos dois antibióticos.

Estava aberta a porta para as pesquisas com DNA recombinante e para a produção da primeira proteína humana produzida por essa técnica, a insulina, em 1973. Em 1974, camundongos transgênicos foram produzidos e em 1994 começava a comercialização dos alimentos transgênicos.

2 Análise do DNA

Ao tratar uma molécula grande de DNA com uma enzima de restrição, obtém-se uma coleção de fragmentos de DNA com tamanhos diferentes. Cada indivíduo possui uma coleção característica. O conjunto de fragmentos de dois indivíduos aparentados é semelhante, mas não idêntico (exceto no caso de gêmeos univitelinos), por causa da variedade genética, fruto das mutações e da recombinação dos genes pela reprodução sexuada.

Algumas mutações retiram nucleotídeos e diminuem o tamanho do fragmento de DNA. Outras podem provocar duplicações nos nucleotídeos, aumentando o tamanho do fragmento. Além disso, existem regiões no DNA que não codificam proteínas e que são constituídas por repetições de certo número de nucleotídeos, sendo que o número de repetições varia de indivíduo para indivíduo. O número de repetições dessas bases em cada gene é altamente variável na população humana, constituindo-se de quatro até cem repetições, dependendo do indivíduo analisado.

Essas diferenças permitem que sejam obtidos fragmentos de diferentes tamanhos, que podem ser separados uns dos outros em função de seus tamanhos. Para isso, eles são colocados em uma espécie de gelatina e submetidos a um campo elétrico. Por causa do fosfato presente nos nucleotídeos, os fragmentos de DNA ficam carregados negativamente e migram para o polo positivo. Os fragmentos maiores migram mais devagar, e os menores migram mais depressa. Forma-se, assim, um conjunto de faixas ou bandas. O processo é chamado **separação em gel por eletroforese** (do grego *elektron* = eletricidade; *phorein* = transportar). Veja a figura 7.5. O conjunto de bandas pode ser comparado ao código de barras das embalagens de vários produtos e é exclusivo de cada indivíduo. Assim, podemos conseguir uma espécie de "impressão digital" típica de cada pessoa. Por isso esse exame é denominado **impressão digital genética** ou **impressão digital do DNA** (DNA *fingerprint*, em inglês).

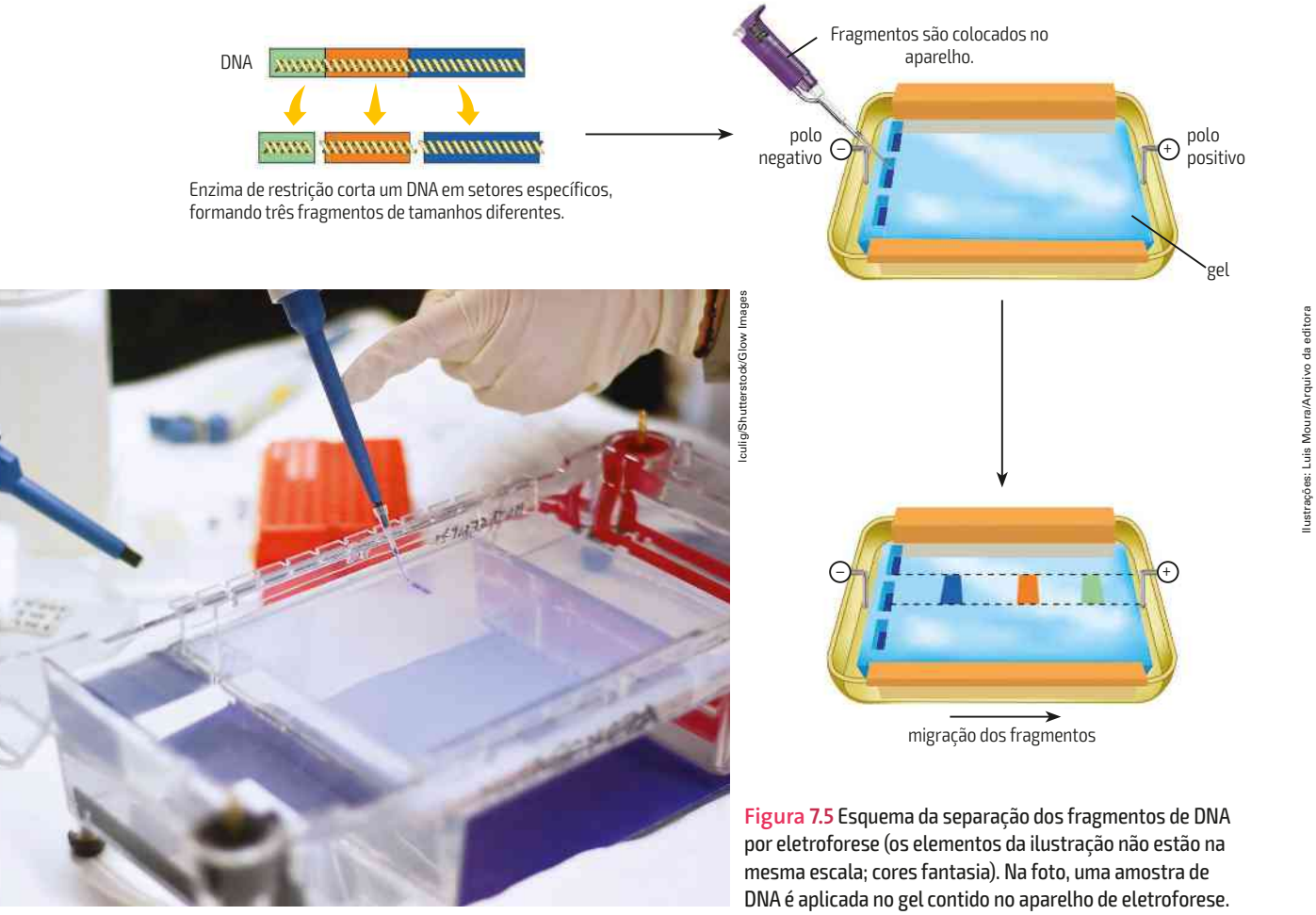


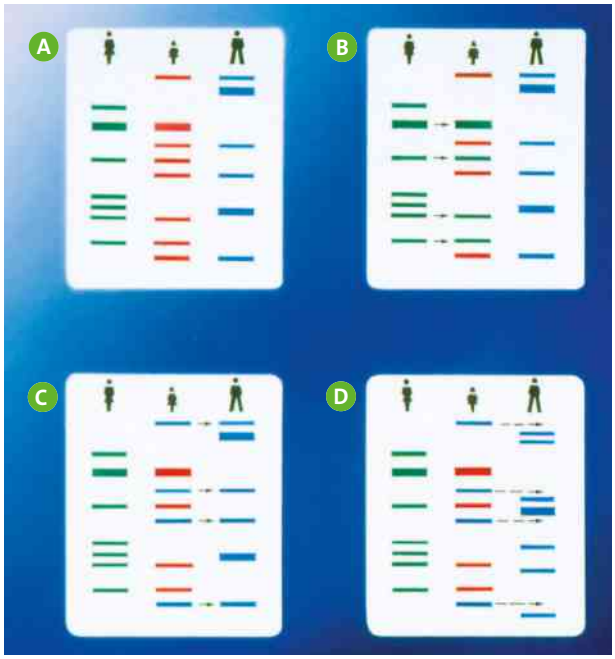
Figura 7.5 Esquema da separação dos fragmentos de DNA por eletroforese (os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia). Na foto, uma amostra de DNA é aplicada no gel contido no aparelho de eletroforese.

Aplicações

Com a impressão digital do DNA é possível identificar criminosos, ou inocentar suspeitos, a partir de amostras de sangue, fios de cabelo, sêmen ou algum tecido do corpo. Na Inglaterra e nos Estados Unidos, já foi criado um banco nacional de DNA de criminosos, cujas amostras são arquivadas em computadores.

O exame serve também para determinação de paternidade. A técnica consiste em extrair DNA dos glóbulos brancos do sangue coletado da mãe, da criança e do suposto pai. O DNA de cada um é tratado pelas mesmas enzimas de restrição, e os fragmentos obtidos são separados, formando-se, assim, o padrão de bandas de cada indivíduo. Comparando o padrão da mãe com o da criança, certamente haverá bandas coincidentes por causa da herança genética, já que metade do DNA da criança vem da mãe e a outra metade do pai. Assim, as bandas da criança que não corresponderem às da mãe, devem corresponder às do pai biológico. Caso não haja essa correspondência, ele não é o pai (figura 7.6).

Michael Gilbert/SPL/Latinstock



David Parker/SPL/Latinstock

Figura 7.6 Ilustração do resultado de um teste de paternidade. Cada barra indica um fragmento de DNA. Em **B**, observe que algumas barras da mãe coincidem com as do filho. Em **C**, podemos ver que as demais barras da criança coincidem com as do possível pai. Já **D** mostra que as barras da criança não coincidem com as de outro possível pai. Na foto, o resultado de um exame no qual duas crianças (letras **C**) compartilham bandas com a mãe (**M**) e com o pai (**P**).

3 Diagnóstico e tratamento de doenças genéticas

As técnicas de engenharia genética podem ser usadas para diagnóstico e tratamento de diversas doenças genéticas.

O diagnóstico pode ser feito quando conhecemos o gene responsável pela doença. Nesse caso, pode-se utilizar uma **sonda**, ou seja, um trecho marcado (com radioatividade, substâncias fluorescentes, etc.) de DNA com uma sequência de bases complementar a um trecho do DNA que se quer identificar. Por enquanto, somente algumas doenças podem ser detectadas desse modo, mas essa quantidade tem aumentado ao longo dos anos.

A terapia gênica ou geneterapia é um procedimento muito complexo, que consiste em corrigir a deficiência da produção de uma proteína que não é produzida, ou que não funciona, porque seu gene sofreu uma mutação. A correção é feita por meio da injeção de genes normais. O pedaço de DNA que contém o gene que se quer introduzir pode ser passado para as células do paciente através de um vetor (vírus, nanopartículas, etc.) que contém o DNA. Além do trecho com o gene, o DNA possui uma sequência

de inserção para permitir sua integração ao DNA genômico. A partir daí, a célula passará a produzir a proteína normal, que estava ausente no paciente doente (figura 7.7).

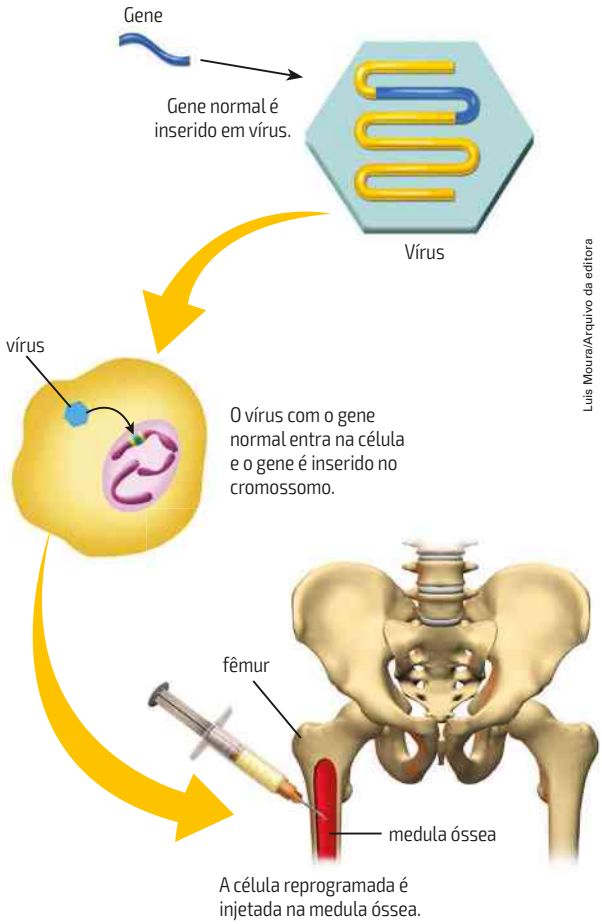


Figura 7.7 Exemplo de terapia gênica (esquema simplificado; os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia).

4 Sequenciamento de genomas

Sequenciar um genoma é determinar a ordem (sequência) de todas as bases nitrogenadas (ou dos nucleotídeos) do genoma de um organismo, isto é, de toda a informação hereditária contida no DNA (ou no RNA, no caso de alguns vírus). Nos seres diploides, o genoma se refere aos genes de um conjunto haploide de autossomos somado aos genes de cada cromossomo sexual.

O primeiro genoma a ser inteiramente sequenciado foi o da bactéria *Haemophilus influenzae*, completado em 1995. O nome vem do fato de que essa bactéria foi, erroneamente, considerada como a causa da gripe ou *influenza* até 1933.

Atualmente o sequenciamento é feito em aparelhos especiais (figura 7.8) e o genoma de um grande número de organismos foi sequenciado: vírus, bactérias, fungos, animais e plantas.

Iniciado em 1990, o Projeto Genoma Humano procura descobrir a posição de cada gene no cromossomo (**mapeamento**) e estabelecer a sequência de bases de cada gene (**sequenciamento**).

Calcula-se que haja, nos seres humanos, cerca de 20 mil genes que codificam proteínas, mas há entre os genes dos eucariontes grandes sequências de nucleotídeos repetidos e trechos formados por sequências de bases que não codificam proteínas. Alguns desses trechos são formados por genes que participam da regulação da expressão dos outros genes. Alguns trechos do genoma parecem não ter nenhuma função codificante ou regulatória. Além disso, o RNAm sintetizado pelo DNA pode ser "cortado" e "recombinado", formando novas moléculas, o que faz com que um gene possa produzir mais de uma proteína (*splicing* alternativo ou encadeamento alternativo do RNA). Os genes codificadores de proteínas constituem apenas cerca de 2% do genoma. Em todo um genoma humano, apenas 0,01% dos nucleotídeos variam entre dois indivíduos.

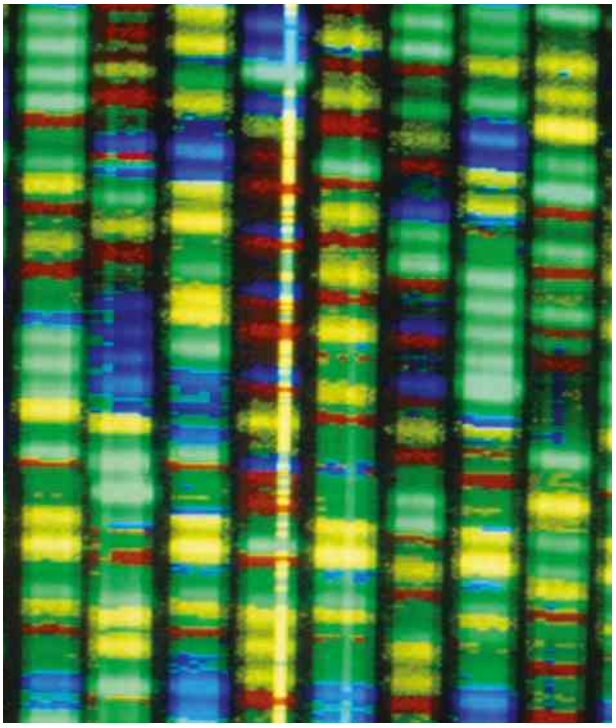

Philippe Plailly/SPL/Latinstock

Figura 7.8 Nucleotídeos modificados marcados com diferentes corantes aparecem em um sequenciador automático de DNA.

Vejamos algumas aplicações do sequenciamento de genomas:

- Permitir a identificação de genes que causam ou que contribuem para doenças genéticas ou para o câncer, aumentando a capacidade de diagnosticar doenças na fase inicial por meio de testes genéticos e a probabilidade de cura. Cerca de cinquenta alterações em genes que provocam câncer já são conhecidas.
- Analisar o grau de parentesco evolutivo entre as espécies (metade do genoma do ser humano é igual ao da mosca-das-frutas) e entre grupos de populações, criando árvores genealógicas, compreendendo melhor a evolução dos grupos e das espécies. O exame de ancestralidade genômica é capaz de revelar as origens de uma pessoa.
- Ajudar no aconselhamento genético, que analisa as chances de um casal transmitir doenças hereditárias para o filho. Dessa forma, é possível, depois dos exames pré-natais, avaliar as doenças que poderão ser transmitidas aos filhos e as formas de evitá-las ou tratá-las desde cedo.
- Descobrir mais sobre o funcionamento do gene, e até a forma como ele controla ou influencia diversas características. Desse modo, podemos compreender melhor as causas do envelhecimento, da obesidade e de muitas doenças.
- Ajudar a descobrir a sequência de aminoácidos de várias proteínas, o que permitiria entender melhor sua função e criar novos medicamentos. É o estudo do proteoma.
- Criar drogas específicas para cada tipo de doença e de indivíduo, aumentando sua eficácia e reduzindo os efeitos colaterais.
- Facilitar o desenvolvimento de plantas e animais transgênicos.
- Ajudar no melhoramento de animais e plantas consumidas pelo ser humano e no combate a pragas e doenças.

Biologia e sociedade

Genes e comportamento

Não é correto dizer que os genes determinam um comportamento: eles podem representar, em certos casos, uma entre outras influências, agindo sempre em interação com o ambiente e a cultura. Os genes, portanto, poderiam conferir, juntamente com outros fatores, apenas um potencial para certos comportamentos.

Se podemos afirmar que no caso de características físicas, como a altura, por exemplo, o grau de influência dos genes pode chegar a 90%, em características de personalidade, a interferência genética é muito mais difícil de ser avaliada. Nesse caso, o ambiente, sob a forma de estímulos externos, ou o próprio esforço da pessoa pode mudar bastante o resultado final. Isso acontece porque temos uma grande capacidade de aprender e de mudar nosso comportamento de acordo com as experiências pelas quais passamos ao longo da vida.

Além disso, o fato de uma característica ser influenciada geneticamente não significa que ela seja, por isso, boa ou má, ou que não possa ser mudada. Suponhamos, por exemplo, que houvesse tendência genética para agir agressivamente com pessoas estranhas e que essa tendência tivesse sido vantajosa para a sobrevivência da espécie nas sociedades pré-históricas. Isso não quer dizer que ela deva ser mantida nem que não possa ser modificada.

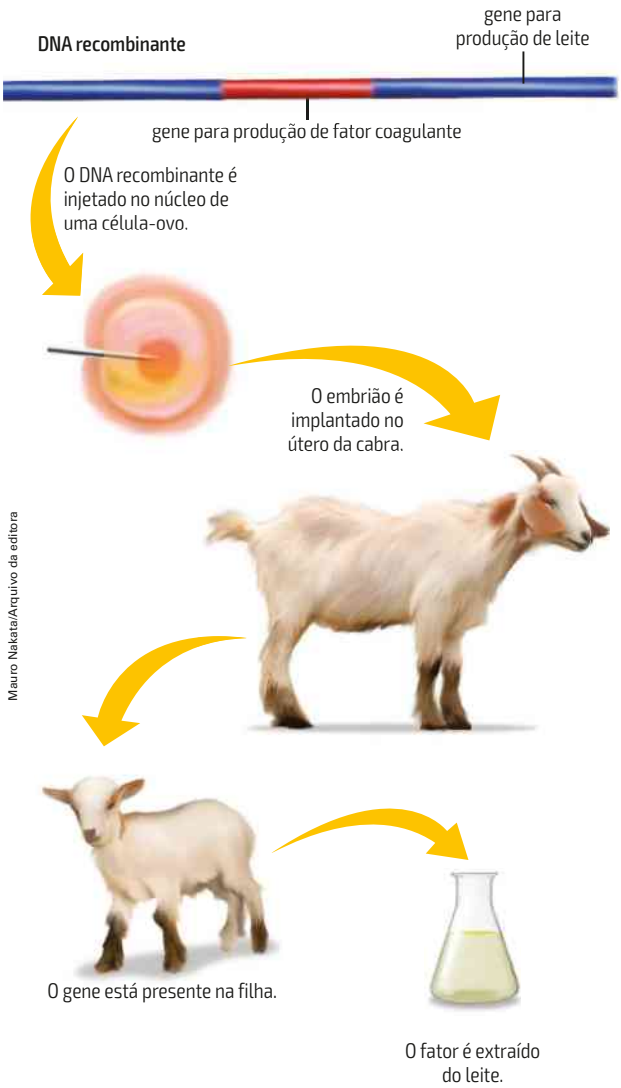
Em resumo, o máximo que se pode dizer é que os genes são capazes de influenciar certos comportamentos, mas não de determiná-los. O comportamento humano depende de uma série de fatores culturais e sociais, como indicam os estudos em Psicologia e Sociologia. Esses estudos nos ajudam também a promover a cooperação e outros comportamentos necessários para uma vida harmoniosa em sociedade. Respeitar e valorizar as diferenças entre as pessoa é fundamental para construir uma sociedade mais justa. Cabe a todos nós combater a violência e a intolerância baseadas na discriminação.

5 Organismos geneticamente modificados

Como vimos, organismos geneticamente modificados, também conhecidos como transgênicos, são aqueles que sofreram modificações em seu DNA, como é o caso das bactérias que produzem insulina humana.

Animais transgênicos

Entre os animais transgênicos, há aqueles com genes humanos para produção de determinadas substâncias, como as cabras transgênicas que produzem no leite fatores para a coagulação do sangue (figura 7.9).



Mauro Nakata/Arquivo da editora

Figura 7.9 Formação de cabras transgênicas produtoras de leite com fator coagulante (altura do ombro do animal adulto: de 0,70 m a 1,10 m). (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Em 2012, cientistas argentinos anunciaram que uma vaca clonada produziu leite com duas proteínas do leite humano, a lactoferrina e a lisozima, que atuam contra infecções e ajudam a evitar anemia nos recém-nascidos. O DNA que codifica essas proteínas foi incorporado ao DNA da vaca. O objetivo é produzir leite para bebês que não tenham acesso ao leite materno.

Outro exemplo de animais transgênicos são os camundongos gigantes. Nesse caso, cópias do gene para a produção do hormônio do crescimento do rato são injetadas em zigotos de camundongo. O gene do rato se integra ao genoma do zigoto, que é implantado em uma fêmea e se desenvolve. O resultado é um camundongo duas vezes maior que o normal. O camundongo gigante apresenta o novo gene em todas as células do corpo e, inclusive, produz gametas com o gene transplantado, produzindo filhotes que também serão gigantes.

Há também os camundongos que possuem em suas células uma proteína fluorescente, que emite luz quando exposta à radiação ultravioleta (figura 7.10). O gene responsável pela produção dessa proteína foi extraído de uma espécie de água-viva. A técnica pode ser usada para marcar células cancerosas e seguir seu movimento no corpo, entre outras aplicações. Hoje já existem milhares de cobaias transgênicas, geneticamente propensas a vários tipos de doenças, importantes para a pesquisa de novos medicamentos.

Makoto Iwafuji/SPL/Latinstock

Figura 7.10 Camundongo fluorescente (camundongos adultos têm de 6 cm a 9 cm de comprimento, fora a cauda).

Plantas transgênicas

Há vários tipos de plantas transgênicas. Muitas ainda estão em fase de pesquisa. Algumas são mais produtivas ou nutritivas; outras resistem melhor à seca; e há ainda as que são resistentes a alguns agrotóxicos.

Algumas variedades de soja, algodão e milho transgênicos, por exemplo, possuem um gene, retirado de uma bactéria, que confere à planta resistência ao glifosato. Com esse gene a planta pode receber um determinado herbicida que mata as ervas daninhas sem ser afetada. Essa resistência faz com que o herbicida possa ser usado depois de a soja ou o algodão já terem sido plantados. Nas plantações convencionais, é preciso usar vários herbicidas, mais tóxicos que o glifosato, que só podem ser aplicados antes do cultivo (**figura 7.11**).

Outro tipo de planta transgênica resistente a pragas é o milho Bt. Para criá-lo, foi utilizado um gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*, que vive no solo e produz a toxina Bt (iniciais do nome da bactéria) capaz de matar a lagarta do cartucho e da broca, pragas do milho. Esses insetos morrem assim que começam a comer a planta transgênica. Inofensiva ao ser humano, essa bactéria já é usada há mais de 50 anos como inseticida biológico.

Também tem sido estudada a opção de vacinação oral por meio da alimentação com vegetais transgênicos. Assim, esses alimentos funcionariam como medicamento. É o caso de bananas e de alfaces com vacina contra a meningite e a hepatite B, respectivamente.

Apesar dos benefícios, os transgênicos trazem também alguns riscos e uma grande polêmica entre cientistas e na sociedade em geral.

Para os críticos, não há provas suficientes de que esses produtos não causem danos à saúde ou desequilíbrios no ambiente – pelo menos a longo prazo. Por isso, em muitos países, é necessário identificar os produtos que possuem um componente transgênico acima de certa porcentagem mínima (no Brasil, o governo estabeleceu 1%). A identificação é um direito do consumidor, além de tornar mais fáceis estudos sobre a ocorrência de alergias e outros possíveis problemas entre os consumidores.

Phaitoon Sutunyawatchai/Shutterstock/Glow Images

Figura 7.11 Plantação de milho (até cerca de 2,5 m de altura) geneticamente modificado, em Concórdia (SC).

Andrew Koturanov/Shutterstock/Glow Images

Em relação à saúde, os defensores dos transgênicos argumentam que os estudos não indicam nenhum problema. A maioria das proteínas e do DNA é destruída (fragmentada em aminoácidos e nucleotídeos) no cozimento ou pela digestão. Entretanto, uma pequena quantidade de fragmentos de DNA e de proteína pode ser absorvida e cair no sangue. Tudo indica, porém, que essas moléculas são destruídas pelo sistema de defesa do organismo. Além disso, nos alimentos não transgênicos também há proteínas e genes – presentes nas células de plantas, de animais e nos vírus que parasitam essas células. E também não há evidências de que isso cause problemas ao nosso organismo.

Contudo, sabemos que algumas pessoas têm alergia a certos alimentos. Da mesma forma, algumas pessoas também podem ser alérgicas aos alimentos transgênicos. Por isso eles têm de ser testados antes que sua venda seja liberada no mercado. Mas, para os defensores dos transgênicos, o risco de alergia a esses alimentos não é maior do que o dos alimentos convencionais.

Não podemos esquecer também que, pelo menos em alguns transgênicos, há uma redução na quantidade de agrotóxicos, o que é benéfico para a saúde humana.

Em relação ao ambiente, os grãos de pólen das plantas transgênicas podem ser levados por vento ou insetos e fecundar plantas convencionais. Por isso são necessários estudos ambientais analisando caso a caso. No caso da soja, o risco é menor porque ela realiza autopolinização. Já para o milho, que faz polinização cruzada, o risco é maior. Para diminuí-lo, plantas transgênicas devem guardar uma distância mínima das culturas convencionais.

Além disso, os animais que atacam as pragas poderiam morrer quando ingerissem os insetos que se alimentaram de plantas transgênicas com agrotóxico em suas células. Mas o agrotóxico das culturas convencionais também pode matar esses insetos. Assim, a diminuição do uso de agrotóxicos que alguns transgênicos proporcionam poderia ajudar na preservação das espécies selvagens.

É possível também que o uso de certos transgênicos provoque uma seleção de insetos resistentes ao agrotóxico presente na planta. Mas essa resistência também pode aparecer nas plantações que recebem agrotóxicos. O risco pode ser diminuído usando plantas não transgênicas como um refúgio para os insetos não resistentes.

Defensores dos transgênicos dizem que a população mundial vem crescendo e, para produzir mais alimento, os ambientes naturais serão cada vez mais destruídos. Transgênicos mais produtivos causariam menor destruição.

Os críticos afirmam que a preferência pelo cultivo de um único tipo de transgênico reduz a diversidade de plantas na região. Isso seria perigoso porque quanto maior a diversidade genética, maior a resistência a pragas e a mudanças climáticas. Por isso é importante preservar as plantas nativas, que possibilitam o surgimento de novas variedades.

Outro problema é que o fornecimento de sementes transgênicas poderia ficar sob controle de grandes empresas do setor agrícola, aumentando a dependência dos países menos desenvolvidos. No caso do Brasil, a Empresa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) já possui tecnologia para produzir alguns transgênicos (**figura 7.12**), o que diminuiria essa dependência. A Embrapa produz soja resistente a herbicida; mamão, batata e feijão imunes a certos vírus; cacau resistente à praga da vassoura-de-bruxa (um fungo). Essas plantas, porém, ainda não são cultivadas comercialmente.

Em resumo, apesar de alguns benefícios, ainda há preocupações acerca de questões sociais, econômicas, ambientais e de saúde envolvidas no cultivo de transgênicos.

Sergio Ranalli/Pulsar Imagens

Figura 7.12 Experimento com soja geneticamente modificada realizado em laboratório da Embrapa em Londrina, PR. Foto de 2008.

Biologia e ética

Problemas legais e éticos nos testes genéticos

Nos Estados Unidos são realizados cerca de 4 milhões de testes genéticos por ano, que ajudam a diagnosticar e a tratar doenças como a anemia falciforme, a fenilcetonúria e as doenças da glândula tireóidea desde o nascimento.

Em alguns casos, os testes indicam apenas uma predisposição a certas doenças, como o câncer de mama.

Nesses casos, os indivíduos herdam genes que aumentam a propensão para a doença, mas isso não quer dizer que ela obrigatoriamente se desenvolverá. Sabendo dessa predisposição, a pessoa poderia evitar os fatores ambientais que causam a doença, adotar hábitos que minimizam seus efeito ou tomar medicamentos preventivos.

Por exemplo, um indivíduo propenso a ter câncer de pulmão não deveria se expor a fatores cancerígenos, como o cigarro, e poderia fazer exames periódicos para diagnosticar precocemente a doença, se ela aparecesse.

Mas e quando o teste indica uma doença séria que poderá se desenvolver no futuro e para a qual ainda não há prevenção nem tratamento? Será que a pessoa deve saber que terá a doença? Essa é uma escolha individual difícil, será que todos estariam preparados para saber disso?

Empresas teriam o direito de realizar testes em seus funcionários ou em candidatos a um emprego para procurar doenças que poderão desenvolver-se no futuro? Companhias de seguro poderiam fazer testes para aprovar ou rejeitar pedidos de seguro saúde? Nos Estados Unidos uma empresa foi proibida de realizar exames de sangue nos funcionários, pois estava fazendo testes para ver se eles possuíam tendências a certas doenças musculares.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Durante a apresentação de um trabalho para os colegas, um estudante afirmou que, atualmente, a tecnologia de manipulação do DNA tem várias aplicações e mencionou as seguintes:

a) investigação de paternidade;
b) indício de culpado em alguns crimes;
c) produção de hormônios humanos usando bactérias;
d) recriação de espécies extintas;
e) produção de novas variedades de plantas, para uso na alimentação humana;
f) produção de clones de seres humanos.

Corrigindo-o, o professor lembrou que duas das aplicações mencionadas por ele não são possíveis, pelo menos por enquanto, e que, além disso, uma delas é proibida em muitos países e condenada pela Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). Identifique essas duas aplicações e diga qual das duas é condenada pela Unesco. Justifique suas respostas.

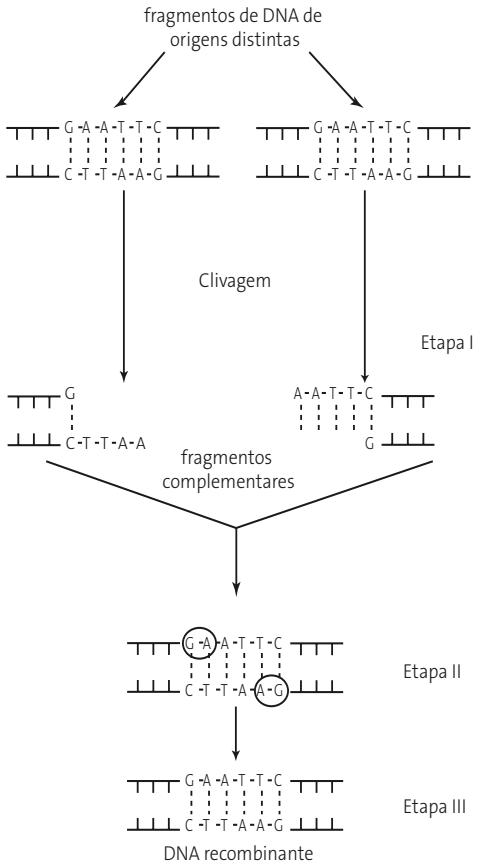
2. Um estudante afirmou que a produção de plantas geneticamente modificadas, também chamadas de plantas transgênicas, em nada difere do processo de seleção artificial (cruzamento seletivo de variedades de plantas com características desejáveis), há muito utilizado em agricultura. Ele está certo? Justifique sua resposta.

3. Em um artigo da seção de ciência de um jornal estava escrito que as enzimas de restrição podem ser comparadas a "tesouras moleculares". O artigo também afirmava que determinada enzima pode ser usada para "cortar" qualquer ponto da molécula de DNA. Você concorda com as afirmações? Justifique sua resposta.

4. Dois irmãos podem ser identificados pela técnica de impressão digital genética (DNA *fingerprint*)? E dois gêmeos univitelinos? Justifique sua resposta.

5. Suponha que a sequência de bases nitrogenadas de um trecho do gene alterado seja TTAGCTAT. É possível saber se uma pessoa apresenta esse gene utilizando a técnica da sonda molecular, formada por um trecho de DNA capaz de se encaixar em um trecho do gene que está sendo pesquisado. Qual é a sequência da sonda capaz de se encaixar no trecho indicado do gene defeituoso?

6. (Unirio-RJ) Na engenharia genética, a técnica de DNA recombinante vem sendo utilizada na pesquisa e no desenvolvimento, por exemplo, de vacinas e medicamentos. O esquema abaixo apresenta algumas etapas dessa técnica.



a) Analise as etapas I, II e III. Em quais delas se desenvolvem, respectivamente:
   a_1) o pareamento das bases?
   a_2) a ação das enzimas de restrição?
   a_3) a ação da DNA-ligase?

b) *Os agricultores americanos, por exemplo, já estão plantando as sementes da terceira safra de milho, algodão e soja transgênicos.*

(Adaptação do artigo Revolução invisível na mesa, da revista Época, 8 de junho de 1998.)

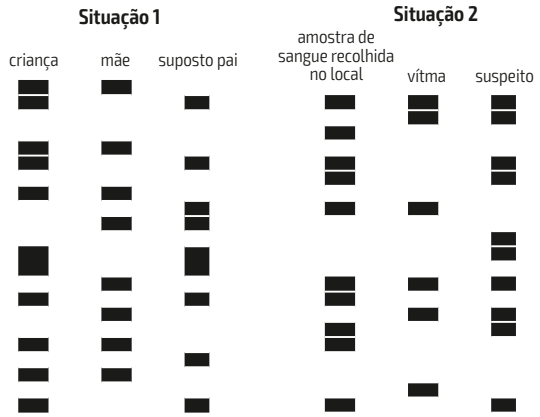
Conceitue organismos transgênicos.

7. (UFG-GO) O exame de paternidade através da comparação de DNA sequenciado vem sendo utilizado para determinar progenitores. É possível determinar o pai de um recém-nascido quando a dúvida sobre a paternidade desse recém-nascido está entre gêmeos univitelinos? Justifique sua resposta.

8. (Unifesp) As figuras representam os resultados de dois exames de DNA em que as amostras de DNA dos envolvidos são fragmentadas com enzimas específicas e submetidas à eletroforese, gerando um padrão de faixas ou "bandas".

A situação **1** refere-se a um caso de investigação de paternidade: o suposto pai deseja saber se a criança é, de fato, seu filho biológico.

A situação **2** refere-se a uma investigação criminal: na cena do crime foram encontradas manchas de sangue e o delegado precisa saber se o sangue é da vítima, de um indivíduo apontado como suspeito de ser o criminoso ou de uma terceira pessoa não identificada até o momento.



A partir da análise dos resultados, responda:

a) A criança é filho biológico do suposto pai? Justifique sua resposta.

b) A amostra de sangue recolhida no local do crime é da vítima, do suspeito ou de uma terceira pessoa não identificada? Justifique sua resposta.

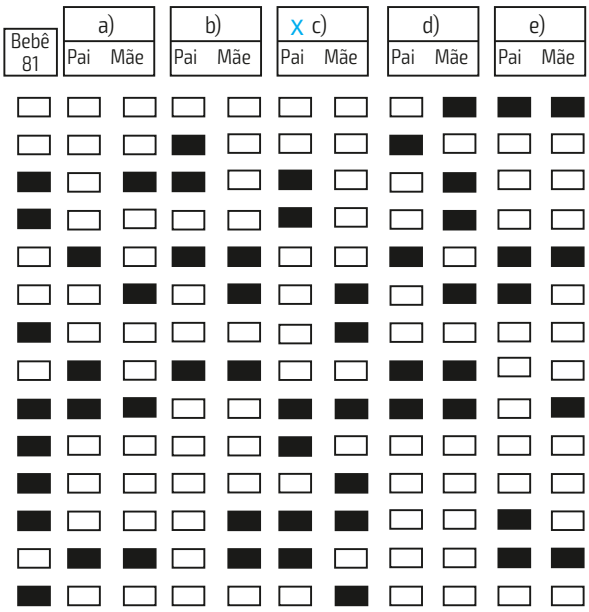
9. (Fuvest-SP)

Teste de DNA confirma paternidade de bebê perdido no tsunami

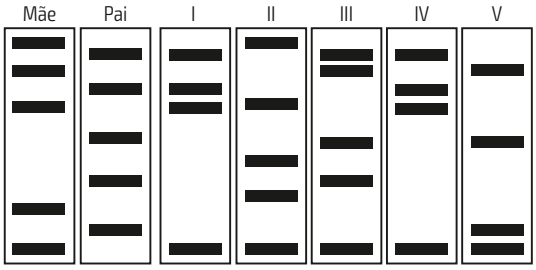
Um casal do Sri Lanka que alegava ser os pais de um bebê encontrado após o tsunami que atingiu a Ásia, em dezembro, obteve a confirmação do fato através de um exame de DNA. O menino, que ficou conhecido como "Bebê 81" por ser o 81º sobrevivente a dar entrada no hospital de Kalmunai, era reivindicado por nove casais diferentes.

(Folhaonline, 14/2/2005. Adaptado.)

Algumas regiões do DNA são sequências curtas de bases nitrogenadas que se repetem no genoma, e o número de repetições dessas regiões varia entre as pessoas. Existem procedimentos que permitem visualizar essa variabilidade, revelando padrões de fragmentos de DNA que são "uma impressão digital molecular". Não existem duas pessoas com o mesmo padrão de fragmentos com exceção dos gêmeos monozigóticos. Metade dos fragmentos de DNA de uma pessoa é herdada de sua mãe e metade, de seu pai. Com base nos padrões de fragmentos de DNA representados abaixo, qual dos casais pode ser considerado como pais biológicos do Bebê 81?



10. (PUC-RJ) A figura abaixo representa o resultado de um teste de paternidade. Este teste baseia-se na identificação de marcadores genéticos compartilhados ou não por pai, mãe e filhos.



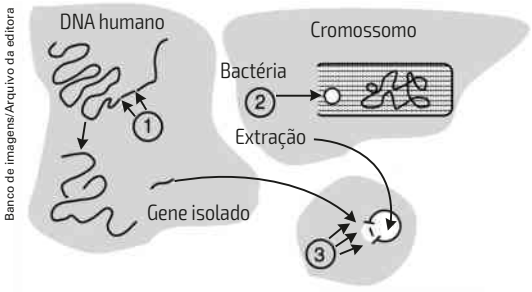
Considerando a figura, **não** é correto afirmar que:

a) I é filho biológico do casal.
X b) V não pode ser filho biológico deste casal.
c) II não é filho deste pai.
d) III é irmão biológico de I.
e) IV e I são irmãos gêmeos monozigóticos.

11. (UEL-PR) Recentemente, um grupo de pesquisadores brasileiros conseguiu sequenciar o genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, causadora da doença conhecida como amarelinho, que acomete os laranjais e acarreta grandes perdas com relação a sua capacidade produtiva. O arrojado projeto, conhecido como Projeto Genoma da bactéria *Xylella*, teve amplo reconhecimento científico e foi largamente divulgado pelos meios de comunicação. É correto afirmar que o sequenciamento de *Xylella fastidiosa* trata-se da identificação:

a) do número e sequência de aminoácidos das proteínas desta bactéria.
b) do número e sequência de aminoácidos no cromossoma desta bactéria.
X c) da sequência de bases nitrogenadas no cromossoma desta bactéria.
d) da sequência de alelos nos cromossomos desta bactéria.
e) do número de cromossomos e plasmídios desta bactéria.

12. (UFPE/UFRPE) Para um pesquisador transferir um gene de interesse, diferentes etapas são cumpridas em laboratório, entre as quais: a utilização de enzima do tipo (**1**), para o corte e a separação do segmento de DNA a ser estudado; a extração e o rompimento de (**2**), e a inclusão em (**2**) do segmento obtido (gene isolado) com o auxílio de enzimas do tipo (**3**). Os números **1**, **2** e **3** indicam, respectivamente:



Banco de imagens/Arquivo da editora

X a) enzima de restrição, plasmídeo e enzima ligase.
b) enzima transcriptase reversa, cromossomo circular e enzima de restrição.
c) DNA recombinante, RNA plasmidial e enzima exonuclease.
d) enzima transcriptase reversa, plasmídeo e enzima de restrição.
e) enzima de restrição, RNA plasmidial e enzima transcriptase reversa.

13. (UFRN) As técnicas de engenharia genética possibilitaram a produção de grandes quantidades de insulina por bactérias que receberam o gene humano para esse hormônio. Tal efeito só foi possível pelo emprego das enzimas de restrição, que agem:

a) traduzindo o gene da insulina para o código genético da bactéria.
b) ligando o pedaço de DNA humano ao DNA da bactéria.
c) identificando os aminoácidos codificados pelo gene.
X d) cortando o DNA da bactéria em pontos específicos.

14. (UEG-GO) A parte endócrina do pâncreas é formada pelas ilhotas pancreáticas, que contêm dois tipos de células: beta e alfa. As células betas produzem a insulina, hormônio peptídico que age na regulação da glicemia. Esse hormônio é administrado no tratamento de alguns tipos de diabetes. Atualmente, através do desenvolvimento da engenharia genética, a insulina administrada em pacientes diabéticos é, em grande parte, produzida por bactérias que recebem o segmento de

a) peptídeo e transcrevem para o DNA humano a codificação para produção de insulina humana.
b) RNA mensageiro e codifica o genoma para produção da insulina da própria bactéria no organismo humano.
c) plasmídeo da insulina humana e codifica o genoma agregando peptídeos cíclicos no organismo humano.
X d) DNA humano responsável pela produção de insulina e passam a produzir esse hormônio idêntico ao da espécie humana.

15. (Ufscar-SP) Vegetais e animais transgênicos:

a) são mutantes que têm o seu genoma alterado por processos como radiação, para desenvolvimento de características específicas.
b) passaram por processo de clonagem, onde sofrem transplante de órgãos em experiências científicas, para desenvolvimento de fenótipos específicos.
c) têm o seu fenótipo alterado mediante ação de mecanismos físicos ou biológicos, mas não passam as alterações sofridas às gerações seguintes.
X d) são seres modificados por biotecnologia aplicável, que consiste na inserção de genes provenientes de outros organismos ao genoma que se deseja modificar.
e) tiveram o seu DNA alterado por variações climáticas, que provocaram a deleção de genes, o que ocasionou modificações nos fenótipos.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar. Vocês podem consultar livros, internet, CD-ROMs, etc., e também entrevistar médicos ou outros profissionais que trabalhem nas áreas de aconselhamento genético e engenharia genética.

Exponham os resultados da pesquisa para a classe e para a comunidade escolar (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis). Verifiquem também se é possível convidar os profissionais dessas áreas (médicos e profissionais que fazem aconselhamento genético ou que trabalham com tecnologia do DNA) para a apresentação de palestras sobre esses temas para a comunidade escolar.

Por fim, informem-se se na região da escola existe alguma instituição que desenvolva trabalhos nessas áreas e verifiquem se é possível agendar uma visita ao local.

1. Pesquisem que tipos de testes genéticos existem para o diagnóstico de doenças e se o teste está disponível no Sistema Único de Saúde (SUS). Expliquem ainda como esses testes podem ser úteis no aconselhamento genético. Com auxílio dos professores de Filosofia, discutam os aspectos éticos dos testes genéticos e que medidas devem ser tomadas para garantir a privacidade de uma pessoa e impedir discriminações em relação a testes genéticos. Pesquisem ainda entre os colegas de turma se cada um gostaria de saber, por meio de um teste genético, se é portador de um gene para alguma doença genética séria que estava presente em sua família e que pode ser transmitida a seu filho. Pesquisem também se eles gostariam de saber isso no caso de essa doença se manifestar por volta dos 50 anos, sem que haja cura para ela.

2. Pesquisem sobre a vida e o trabalho de alguns geneticistas brasileiros, como Crodowaldo Pavan, Mayana Zatz, Warwick Estevam Kerr, Oswaldo Frota-Pessoa, Sérgio Danilo Junho Pena, entre outros.

Atividade prática

Extração de DNA de morangos

Nesta atividade de extração de DNA, você vai precisar de: morangos maduros; água filtrada; 2 colheres (chá) limpas; um pouco de sal de cozinha; cerca de 50 mL de detergente incolor; coador descartável de café (ou filtro de papel de laboratório); dois copos de plástico; saco plástico impermeável com fecho hermético (do tipo usado para guardar alimentos congelados); funil; frasco pequeno de vidro (incolor e com paredes retas; ou um tubo de ensaio com cerca de 3 cm de diâmetro); vareta fina de bambu.

O professor deverá providenciar com antecedência um vidro pequeno com tampa contendo álcool etílico 90 °G.L., e um recipiente de isopor com gelo picado. Um pouco antes do início da prática, o vidro com álcool deve ser colocado no gelo, porque o álcool deverá ser usado gelado.

Retire as "folhinhas" verdes (sépalas) dos morangos, lave-os e coloque-os dentro do saco plástico. Acrescente 4 colheres de água filtrada e feche bem o saco. Esmague bem os morangos, comprimindo-os dentro do saco por alguns minutos. Coloque quatro colheres da água filtrada em um dos copos, acrescente uma colher de detergente e duas pitadas de sal. Mexa com a colher e, em seguida, usando a outra colher, acrescente duas colheres da fruta esmagada. Mexa devagar a mistura (para não formar bolhas) por cerca de quatro minutos. Coloque o coador de papel sobre o outro copo e coe a mistura.

Em seguida, o professor deverá colocar um pouco desse filtrado no frasco de vidro e acrescentar devagar, procurando fazer o líquido escorrer pela lateral do frasco, o álcool gelado (aproximadamente o dobro do volume do filtrado). Depois de alguns minutos devem aparecer fios brancos na superfície da mistura, que podem ser pescados com o auxílio da vareta fina de bambu. Esses fios são o DNA do morango. É possível provar essa afirmação, mas, para isso, é preciso realizar alguns testes especiais em laboratório.

1. O detergente (ou o xampu incolor, que também pode ser usado) é importante para retirar o DNA do interior das células, pois dissolve um tipo de molécula que faz parte da composição de determinadas estruturas da célula. Que molécula é essa e quais são essas estruturas?
2. Um estudante afirmou que os alimentos transgênicos são perigosos para a saúde porque possuem DNA. Embora alimentos transgênicos precisem ser testados para verificar riscos para a saúde e para o ambiente, o que há de errado com a frase do estudante?
3. Existe um teste relativamente simples para identificar e quantificar o DNA das células, mas que só deve ser realizado por técnicos de laboratório, em ambiente adequado, porque envolve o uso de um ácido muito corrosivo. Pesquise (em livros, na internet, em CD-ROMs) como se chama esse teste.

Sugestões de aprofundamento

Para ler:

- **Crick, Watson e o DNA em 90 minutos.** Paul Strathern. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001. (Coleção Cientistas em 90 minutos.)
- **Genética e DNA em quadrinhos.** Mark Shultz e Zander Cannon. São Paulo: Editora Blucher, 2011.
- **Genética: escolhas que nossos avós não faziam.** Mayana Zatz. São Paulo: Globo livros, 2009.
- **Sequenciaram o genoma humano... E agora?.** Lygia da Veiga Pereira. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2005.
- **Transgênicos: inventando seres vivos.** Samuel Murgel Branco. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2015.

Para acessar:

- **Clonagem - aspectos biológicos e éticos:** <www.ufrgs.br/bioetica/clone.htm>
- **Terapia gênica: o que é, o que não é e o que será:** <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000300004>

Acesso em: 12 maio 2016.

UNIDADE 3

Evolução

Com a teoria da evolução, procuramos explicar como as espécies podem se transformar ao longo do tempo dando origem a outras espécies; a razão de suas semelhanças e diferenças; e por que os seres vivos desenvolveram adaptações que os ajudam a sobreviver e a se reproduzir em seu ambiente. Um dos maiores estudiosos da evolução foi Charles Darwin.

CAPÍTULO 8

Evolução: as primeiras teorias

Mitsuhiko Imamori/Platinum/Latinstock

Mariposa-esfinge (cerca de 6 cm de comprimento) alimentando-se do néctar de uma orquídea.

A partir de seus estudos e observando a orquídea *Angraecum sesquipedale*, Charles Darwin imaginou que deveria existir um inseto que tivesse uma estrutura bucal suficientemente longa para alcançar o néctar dessa flor. Só depois de algum tempo foi descrita a mariposa-esfinge (*Xanthopan morganii praedicta*), que se alimenta no nectário dessa orquídea. As teorias científicas, como a teoria da evolução, permitem-nos fazer previsões com base em fatos.

- *Quantos grupos de seres vivos você conhece? Você imagina por que esses grupos são tão diferentes?*
- *Você sabe o que são fósseis? Por que eles são importantes para o estudo da vida?*
- *Todas as características dos pais são passadas para os filhos?*

1 Fixismo

De acordo com o **fixismo**, pensamento predominante no século XVIII, cada espécie teria surgido de maneira independente e permaneceria sempre com as mesmas características. Esse era o pensamento, por exemplo, de Carolus Linnaeus (1707-1778), conhecido como Lineu, que criou um sistema de classificação dos seres vivos (estudado nos Volumes 1 e 2 desta coleção).

Ainda no século XVIII, os fósseis, que atualmente são tidos como fortes evidências das transformações que os seres vivos sofreram ao longo do tempo, já eram estudados, mas não eram vistos como evidência da evolução. Até mesmo o cientista francês Georges Cuvier (1769-1832), um dos fundadores da paleontologia – ciência que estuda os fósseis (do grego *palaios* = antigo; *ontos* = ser; *logos* = estudo) –, era fixista.

Já em 1796, Cuvier observou, em suas escavações, a presença de espécies novas nas camadas mais superficiais (recentes) da Terra e a ausência de outras espécies que estavam presentes nas camadas profundas (antigas). A explicação de Cuvier para esse fato era a de que as espécies antigas foram extintas por catástrofes naturais que ocorreram subitamente, e que as novas espécies teriam migrado de outras regiões.

No campo da geologia (do grego *geo* = Terra; *logos* = estudo), ciência que estuda as características físicas e químicas da Terra e de suas mudanças ao longo do tempo, alguns cientistas contribuíram com ideias diferentes das do fixismo. Um exemplo foi o geólogo escocês James Hutton (1726-1797), que defendia a ideia de que as mudanças nas espécies podiam ser explicadas por mecanismos graduais, a exemplo das mudanças que ocorrem ainda hoje na Terra. Esse também era o pensamento do geólogo escocês Charles Lyell (1797-1875), cujas ideias influenciariam o pensamento de Charles Darwin.

Desde meados do século XVIII, a hipótese de uma transformação das espécies (**transformismo** ou **transmutação das espécies**) passou a ser defendida por alguns cientistas para explicar a diversidade das espécies e a existência de fósseis de organismos diferentes dos organismos atuais. Essa era a opinião, por exemplo, do médico inglês Erasmus Darwin (1731-1802), o avô de Charles Darwin. No entanto, até aquele momento, ele e outros defensores da evolução não apresentaram nenhum modelo de como esse processo teria ocorrido.

2 Lamarckismo

No início do século XIX, o naturalista Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck, ou, simplesmente, Lamarck (1744-1829; figura 8.1), sugeriu um mecanismo para explicar a transformação das espécies.

Leemage/Getty Images

Figura 8.1 Em uma época em que muitos cientistas eram fixistas, Lamarck defendeu a teoria de que as espécies mudam com o tempo, descrevendo um mecanismo por meio do qual isso deveria ocorrer.

A tese de Lamarck é expressa com detalhes no livro *Philosophie zoologique* (Filosofia zoológica), publicado em 1809. Contrariando as ideias fixistas da época, o francês defendia que os organismos atuais surgiram de outros mais simples e teriam uma tendência a se transformar, gradualmente, em seres mais complexos. Os seres mais simples, por sua vez, poderiam surgir por geração espontânea e sua evolução seria, de acordo com Lamarck, guiada por necessidades internas dos organismos.

Atualmente, Lamarck é menos reconhecido por ter sido um evolucionista que se opunha às ideias fixistas de sua época, do que por ter defendido duas leis que explicariam os mecanismos de transformação dos seres vivos: a **lei do uso e desuso** e a **lei da herança das características adquiridas**. Vale lembrar que, na época de Lamarck, era comum a crença nessas leis, que, além de não terem sido criadas por ele, tinham um papel secundário em sua teoria.

De acordo com a lei do uso e desuso, um órgão desenvolvia-se com o uso e atrofiava-se com o desuso. Assim, a língua comprida do tamanduá ou a do camaleão, por exemplo, teriam se desenvolvido em resposta às suas necessidades alimentares e ao uso desse órgão – esses dois animais usam a língua para capturar e comer insetos.

Essa lei apresenta uma verdade apenas parcial, porque o ambiente só pode alterar as características do organismo em certos limites. Assim, embora a altura de uma pessoa possa variar, dependendo das condições em que o seu crescimento ocorre, essa variação não ultrapassará determinados valores máximos e mínimos previstos pelos genes dessa pessoa.

A segunda lei afirma que o **caráter adquirido** (resultante do desenvolvimento pelo uso ou da atrofia pelo desuso) seria transmitido aos descendentes. Partindo desse princípio, um halterofilista que teve seus músculos desenvolvidos por meio de exercícios físicos teria filhos com músculos mais desenvolvidos, por exemplo.

Entre 1870 e 1875, o biólogo alemão August Weismann (1834-1914) estabeleceu a existência de duas linhagens de células – as **germinativas** (que originam os gametas) e as **somáticas** (que formam o corpo) – e mostrou que apenas as modificações surgidas na linhagem germinativa se transferem aos descendentes.

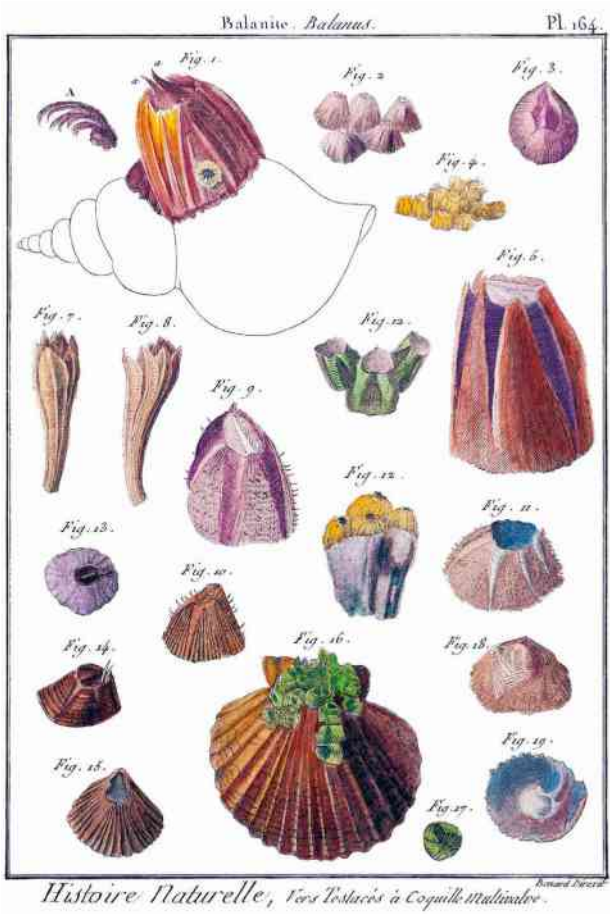
Em uma de suas experiências, ele cortou o rabo de camundongos, por várias gerações, e demonstrou que nenhum dos descendentes nasceu com rabo menor. O experimento de Weismann foi uma evidência contrária à herança das características adquiridas.

Mesmo tendo alguns de seus pressupostos negados, a contribuição de Lamarck para a Biologia evolutiva é inegável. O cientista francês contribuiu ainda com vários estudos sobre Botânica e sobre a classificação dos animais (figura 8.2).

Atualmente, as evidências contra esse tipo de herança vêm do conhecimento que temos de genética. Sabemos que apenas os genes dos gametas são passados para os descendentes, portanto alterações nas células somáticas não são transmitidas de uma geração a outra.

Além disso, o uso e desuso de órgãos e de outras estruturas não altera a sequência das bases do DNA que será transmitida aos descendentes. Fatores do ambiente podem alterar a expressão de certos genes, mas, com exceção daqueles que provocam mutações, como a radiação, fatores ambientais não modificam a sequência das bases do DNA.

Finalmente, embora mutações alterem a sequência das bases do DNA, é importante destacar que elas não são dirigidas pelo ambiente. Isso significa que, em ambientes mais frios, por exemplo, não há maior probabilidade de surgir uma mutação que torne o indivíduo mais adaptado ao frio do que mutações que o tornem menos adaptado ou que sejam neutras em relação a esse fator ambiental.



Paul D. Stewart/SPL/Latinstock

Figura 8.2 Lamarck deu também uma importante contribuição para a classificação dos invertebrados. Na imagem, página de uma enciclopédia de 1792 em que Lamarck trabalhou com ilustrações de cracas (crustáceos) estudadas por ele.

3 Darwinismo

Após terminar seus estudos na Universidade de Cambridge (Inglaterra), o inglês Charles Darwin (1809-1882) foi convidado para uma viagem no barco da Real Marinha Britânica, o HMS Beagle, que tinha a missão inicial de explorar a costa da América do Sul, indo depois para a Nova Zelândia e para a Austrália. A viagem começou em 1831 e durou quase cinco anos (figura 8.3).

Trajeto do navio HMS Beagle na América do Sul

Charles Darwin pouco após a viagem do Beagle (aquarela de George Richmond, 1840).

Charles Darwin aos 66 anos de idade.

Reprodução/Revista *National Geographic Brasil*. Ed. Abril.
Bettmann/Corbis/Latinstock
Julia Margaret Cameron/Bettmann/Corbis/Latinstock

Figura 8.3 A passagem do Beagle pela América do Sul.

Darwin esteve no Brasil por duas vezes, nos trajetos de ida e de volta de sua viagem. Passou por Fernando de Noronha, Salvador, Recife, Abrolhos e Rio de Janeiro. Ficou fascinado com a exuberância da floresta tropical, mas chocado com a escravização (figura 8.4).

Na Argentina, Darwin encontrou fósseis de estranhos animais gigantescos. Alguns eram semelhantes às preguiças e outros se pareciam com tatus. Como Darwin não conseguiu identificá-los, enviou os fósseis a Londres, onde eles foram analisados por outros cientistas, que identificaram semelhanças entre eles e os tatus e preguiças atuais.

Isso fez com que Darwin se perguntasse por que os fósseis dos animais gigantes estavam nos mesmos lugares onde, hoje, podiam ser encontrados seus semelhantes em escala reduzida (figura 8.5). A explicação poderia estar na transformação das espécies a partir de ancestrais comuns, por meio da descendência com modificações. Darwin observou também que um mesmo tipo de animal mostrava diferenças de acordo com a região onde era encontrado: por exemplo, a ema encontrada ao norte da Patagônia era um pouco diferente da ema do sul da Patagônia (a Patagônia está localizada no sul do Chile e da Argentina).

Paul D. Stewart/SPL DC/Latinstock

Figura 8.4 Gravura mostrando a chegada do Beagle ao Rio de Janeiro, em 1832. Darwin ficou horrorizado e com vergonha quando viu a forma brutal como os escravizados eram tratados.

Luis Moura/Arquivo da editora

Luis Moura/ Arquivo da editora

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

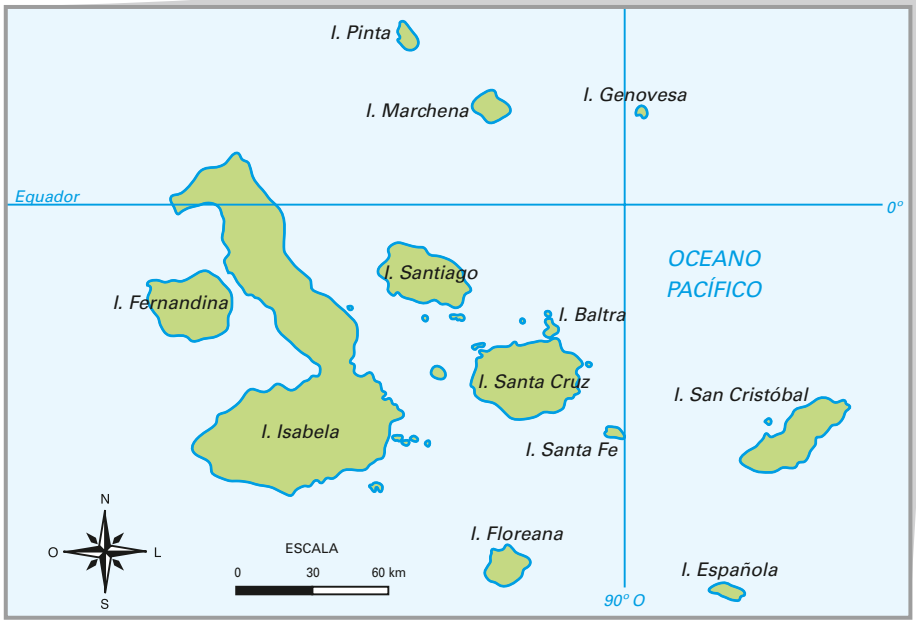
Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 8.5 Reconstituição de um animal que lembra um tatu-gigante (**A**; gênero *Glyptodon*), com cerca de 3 m de comprimento, e outro que lembra uma preguiça-gigante (**B**; gênero *Megatherium*), com 6 m de comprimento. Ambos viveram na América do Sul e se extinguiram há alguns milhares de anos (figura sem escala; cores fantasia). Nas fotos, um tatu-galinha (**C**; *Dasypus novemcinctus*; 38 cm a 58 cm de comprimento) e uma preguiça-de-coleira (**D**; *Bradypus torquatus*; cerca de 50 cm de comprimento).

Darwin passou quatro semanas no arquipélago de Galápagos, um conjunto de ilhas vulcânicas no oceano Pacífico, a cerca de 970 quilômetros da costa ocidental da América do Sul. Ele observou que lá havia vários animais que não existiam em nenhum outro lugar, como iguanas marinhas, tartarugas de grande porte (**figura 8.6**) e algumas espécies de aves, como os pássaros do grupo dos fringilídeos (família Fringillidae), que ficaram conhecidos como tentilhões de Darwin.

Portal de Mapas/Arquivo da editora

Arquipélago de Galápagos



Portal de Mapas/Arquivo da editora

Adaptado de: ATLANTE geografico metodico De Agostini 2011-2012. Novara: Istituto Geografico De Agostini, 2011.

Figura 8.6 Alguns animais e um cacto das ilhas Galápagos. (O nome das ilhas está no idioma original, o espanhol.)

Cacto (*Opuntia echios*; até 12 m de altura) endêmico de Galápagos.

Michael Zysman/Shutterstock/Glow Images

Patola-de-pés-azuis (*Sula nebouxii*; cerca de 80 cm de comprimento).

Minden Pictures/Latinstock

Tartaruga-gigante de Galápagos (*Chelonoidis nigra*), que atinge até 1,80 m de comprimento e 250 kg de peso.

Apenas em Galápagos é encontrada a iguana marinha (*Amblyrhynchus cristatus*; de 0,6 m a 1,30 m de comprimento).

Ryan M. Bolton/Shutterstock/Glow Images

M. Reel/Shutterstock/Glow Images

Durante a visita às ilhas, Darwin não deu muita atenção a essas aves, que se diferenciavam principalmente pelo tamanho e formato do bico. Só começou a pensar a respeito quando retornou à Inglaterra e, consultando especialistas, descobriu que elas eram de espécies diferentes (figura 8.7).

Hiroya Minakuchi/Getty Images

Tentilhão que se alimenta de cacto (*Geospiza scandens*).

D. Parer & E. Parer-Cook/Minden Pictures/Latinstock

Tentilhão que se alimenta de insetos (*Camarhynchus pallidus*).

Figura 8.7 Duas espécies de tentilhões observadas por Darwin em Galápagos. A semelhança entre as espécies de tentilhões do arquipélago e os tentilhões do continente (costa ocidental da América do Sul) levou Darwin a supor que uma espécie ancestral do continente teria dado origem às espécies insulares. (Os tentilhões medem de 10 cm a 20 cm de comprimento.)

Darwin notou que as diferentes espécies de tentilhões do arquipélago eram muito parecidas com outra espécie da mesma ave que vivia no continente vizinho, cujo clima e outras condições ambientais eram diferentes daquelas existentes nas ilhas. Supôs, então, que, ao contrário do que pensavam os fixistas, as espécies do arquipélago não deveriam ter surgido nas próprias ilhas e permanecido imutáveis, mas teriam se originado de espécies provenientes do continente, o que explicaria a semelhança entre elas. Ao longo do tempo, essas espécies teriam se diversificado e se adaptado às condições do ambiente. Por exemplo, o formato do bico estaria adaptado ao tipo de alimentação disponível no local ocupado por elas (a evolução dos tentilhões será estudada no Capítulo 10 deste volume).

Os grandes questionamentos que surgiram então foram: por que as ilhas do arquipélago, que apresentavam solo e clima muito semelhantes, não tinham a mesma flora e a mesma fauna? Por que elas apresentavam flora e fauna muito mais parecidas com as existentes nas regiões continentais vizinhas do que parecidas entre si? E por que, como Darwin teve a chance de observar, havia duas espécies de ema (*Rhea americana* e *Rhea pennata*) em regiões tão próximas da América do Sul? Era difícil responder a essas e a outras perguntas com base no fixismo. No entanto, era possível respondê-las caso se admitisse que espécies semelhantes seriam descendentes de uma espécie ancestral comum, existente no passado, e teriam surgido por meio de uma série de modificações. Essa é a ideia de descendência com modificação a partir de um ancestral comum, defendida por Darwin.

A explicação de Darwin

Qual seria então o mecanismo que explica a transformação das espécies?

A existência de fósseis sugeria que organismos diferentes tinham habitado a Terra no passado. Além disso, a Geologia começava a se desenvolver e revelava que a Terra era mais antiga do que se supunha e tinha passado por muitas transformações. Tudo isso levou muitos cientistas a pensar que houve uma evolução da vida na Terra. Durante a viagem do Beagle, Darwin leu o livro *Princípios de Geologia*, de Charles Lyell, que, entre outras coisas, interpretava as mudanças geológicas como consequências de pequenas mudanças que se acumulavam ao longo de enormes períodos de tempo.

Darwin começou a suspeitar que o mecanismo da evolução poderia ter alguma semelhança com a **seleção artificial**, processo em que o ser humano seleciona para reprodução espécies animais e vegetais com características desejáveis e despreza as demais.

Assim, surgiram todas as raças de cães, carneiros, cavalos, vacas; as variedades de milho e frutas; etc. (figura 8.8).

Darwin passou um bom tempo estudando os cruzamentos seletivos que os criadores de pombo usavam para obter as várias raças desse animal. De forma análoga, pensou ele, a natureza poderia selecionar determinadas características e, com o tempo, originar novas variedades de animais ou plantas.

Como o processo de seleção poderia ocorrer na natureza sem a interferência humana? Uma ideia para a resposta a essa pergunta veio em 1838, quando Darwin leu um livro do economista e clérigo inglês Thomas Malthus (1766-1834) sobre populações.

Malthus afirmava que as populações tendem a crescer em progressão geométrica (1, 2, 4, 8, 16, etc.), mas os recursos para sustentar os indivíduos (como o alimento) cresceriam bem mais devagar, em progressão aritmética (1, 2, 3, 4, 5, etc.). Esse crescimento acelerado de indivíduos teria como consequência uma escassez dos recursos (alimento, espaço, etc.) necessários à sobrevivência ou à reprodução da população. Saiba mais sobre progressões geométricas e aritméticas no estudo da Matemática.

Darwin concluiu que nem todos os organismos que nascem conseguem sobreviver ou – o que é mais importante – reproduzir-se. Os indivíduos com mais oportunidades de sobrevivência seriam aqueles com características apropriadas para enfrentar as condições ambientais; eles teriam maior probabilidade de se reproduzir e deixar descendentes férteis.

Nessas condições, as características favoráveis tenderiam a ser preservadas e as desfavoráveis, destruídas. Darwin denominou essa preservação **variações favoráveis** e a rejeição de variações prejudiciais, **seleção natural**. Segundo ele, pelo lento e constante processo de seleção ao longo das gerações, as espécies podem diversificar-se e tornar-se adaptadas ao ambiente em que vivem.

James Steinberg/Photo Researchers, Inc./Latinstock

mostarda-selvagem

couve-flor

Priscila Prade/Arquivo da editora

brócolis

Nattika/Shutterstock/Glow Images

repolho

Brand X Pictures/Jupiter Images

couve-de-bruxelas

Maurimit/Stock Photos

Figura 8.8 Da mostarda-selvagem (*Brassica* sp.; 30 cm a 1 m de altura), por meio de cruzamentos conduzidos pelo ser humano, foram obtidos o repolho, a couve-de-bruxelas, o brócolis e a couve-flor. (Os elementos da figura não estão na mesma escala.)

Veja na figura 8.9 um exemplo de como a seleção natural promove uma mudança nas populações.

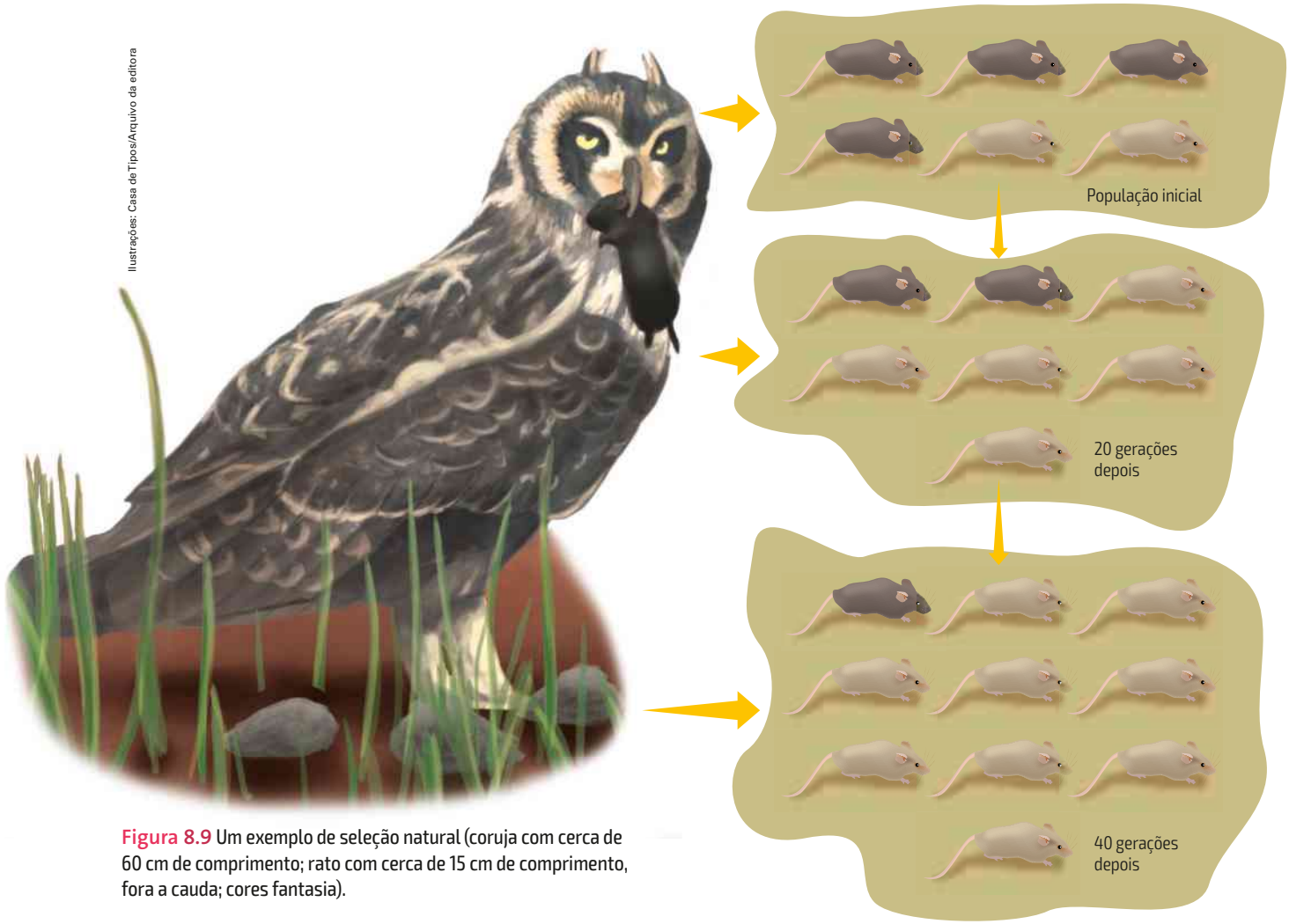
Você pode observar que a frequência de ratos cinza na população está aumentando ao longo das gerações e a de ratos pretos, diminuindo. Isso está acontecendo porque, nesse ambiente em particular, as corujas, que se alimentam de ratos, localizam com maior facilidade os ratos pretos do que os ratos cinza, já que estes últimos, cuja cor se confunde com a cor do solo, ficam mais camuflados. No futuro, a população poderá ser formada apenas por ratos cinza.

Darwin, portanto, defendia a ideia de que as populações se diferenciam gradualmente, ao longo de muitas gerações (caráter gradual da evolução), resultando na diferenciação das espécies. Hoje sabemos, por exemplo, que as baleias, mamíferos aquáticos, surgiram da lenta evolução de mamíferos terrestres (os parentes evolutivos mais próximos desses animais são os hipopótamos), num processo que levou cerca de dez milhões de anos (como veremos no Capítulo 11, há várias evidências fósseis desse processo, revelando uma progressiva adaptação ao ambiente aquático dos ancestrais das baleias às espécies atuais). No entanto, em certas situações, as mudanças podem ser bem mais rápidas, como veremos nos próximos capítulos.

Darwin e Wallace

As conclusões de Darwin não foram logo publicadas. Ele continuou recolhendo provas e trabalhando em sua teoria por mais vinte anos após a viagem a bordo do Beagle. A esse respeito afirmou: "A única maneira justa e legítima de considerar a questão é tentando provar se a minha teoria da evolução explica várias classes amplas de fatos".

As "classes amplas de fatos" a que Darwin se referia incluíam, entre outros, a adaptação, a transformação das espécies, a existência de fósseis e a semelhança dos organismos que vivem em ilhas com os que vivem no continente próximo.



Ilustrações: Casa de Tipos/Arquivo da editora

Figura 8.9 Um exemplo de seleção natural (coruja com cerca de 60 cm de comprimento; rato com cerca de 15 cm de comprimento, fora a cauda; cores fantasia).

Em 1858, Darwin recebeu um pequeno manuscrito do cientista inglês Alfred Russel Wallace (1823-1913; figura 8.10), intitulado *A tendência das variedades de se afastarem indefinidamente do tipo original*. Para sua surpresa, Wallace tinha chegado às mesmas conclusões que ele.

Dr. Jeremy Burgess/SPL/Latinstock

Figura 8.10 Alfred Russel Wallace, naturalista inglês, em fotografia de 1902.

Um resumo do trabalho de Darwin e o ensaio de Wallace foram publicados em conjunto por uma instituição científica, a Linnean Society of London, mas não despertaram muita atenção. Em 1859 saiu a primeira edição do livro de Darwin, *Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural, ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida* (mais conhecido como *A origem das espécies*).

Embora alguns cientistas prefiram falar em teoria de Darwin-Wallace, Darwin tem o mérito de ter apresentado imensa série de evidências a favor de sua teoria e, por isso, para muitos cientistas, esse seria o principal motivo de a teoria da evolução ser mais identificada com o nome dele do que com o de Wallace. Outros também atribuem esse crédito ao maior prestígio científico e social de Darwin na época.

Problemas com o darwinismo

Darwin considerou a existência de um parentesco generalizado entre as espécies, até mesmo a humana (o que foi difícil de ser aceito na época). Para ele, as espécies estavam relacionadas evolutivamente, ou seja, compartilhavam um ancestral em algum ponto de sua história evolutiva. Mas o principal problema dessa ideia era a falta de uma teoria que explicasse a origem e a transmissão das variações.

Darwin não sabia explicar como indivíduos com novas características (uma girafa com um pescoço maior que o de seus pais, por exemplo) poderiam surgir, visto que os genes, a mutação e a recombinação genética – resultante da meiose e da fecundação no processo de reprodução sexuada – não eram conhecidos na época.

Argumentava-se contra Darwin, por exemplo, que, de acordo com a teoria da herança misturada, aceita na época, uma nova característica, mesmo vantajosa, tenderia a se misturar com a característica antiga ao longo das gerações em virtude dos cruzamentos entre indivíduos diferentes. Hoje sabemos que os alelos de um gene são transmitidos às gerações seguintes sem se "misturarem".

Darwin não conseguiu responder satisfatoriamente às críticas, pois desconhecia a mutação e as leis da hereditariedade de Mendel. E atribuiu a transmissão de características entre gerações a hipotéticas "gêmulas", que migrariam dos tecidos até os órgãos sexuais e que, uma vez lá, se multiplicariam, sendo transmitidas às gerações seguintes. Darwin também admitia que, além da seleção, em certos casos, poderia ocorrer a herança dos caracteres adquiridos.

Entretanto, dada a falta de evidências acerca desses mecanismos de hereditariedade, entre outros motivos, muitos cientistas permaneciam céticos a respeito da teoria da evolução por seleção natural.

Além disso, argumentava-se, por exemplo, que não era possível ver uma espécie se transformando em outra. Ou que os fósseis eram resultado de grandes catástrofes que extinguiram espécies do passado. E havia também a ideia filosófica de que as espécies são perfeitas e imutáveis. Mais difícil ainda era aceitar que a própria espécie humana teria surgido por evolução de outros animais. Esse é mais um caso, portanto, de como fatores culturais e sociais (estudados em Filosofia e História da Ciência) podem influenciar a aceitação de novas ideias científicas.

Nas primeiras décadas do século XX, porém, houve uma síntese entre o darwinismo, as leis de Mendel e o conhecimento das mutações, que deu origem à **teoria sintética da evolução**, que será estudada nos próximos capítulos. Atualmente, a teoria sintética é aceita consensualmente pela comunidade científica – como veremos, há muitas evidências que dão apoio a essa teoria – e muitos fenômenos e mecanismos evolutivos novos, além da seleção natural, foram e continuam sendo descobertos.

A teoria da evolução e os limites da ciência

Em linguagem coloquial, a palavra "teoria" pode ser usada com diferentes significados, por exemplo, como sinônimo de hipótese ("eu tenho uma teoria para explicar isso"). Em ciência, porém, o uso desse termo é restrito: para a ciência, teoria é o conjunto de conceitos, leis e modelos que fornecem uma explicação para uma série de fenômenos em determinada área do conhecimento. Com base nas teorias científicas, são formuladas hipóteses, que devem poder ser testadas por meio de observações ou de experimentos.

Nas Ciências da Natureza (Física, Química, Biologia, etc.), as teorias elaboradas procuram explicar os fenômenos que envolvem matéria e energia.

Nessa área do conhecimento há vários exemplos de teorias aceitas pela comunidade científica – como a teoria da relatividade, a da mecânica quântica, a da tectônica de placas e a atual teoria da evolução, entre outras –, o que não quer dizer que elas são definitivas, isto é, que não possam ser corrigidas ou mesmo substituídas por outras.

Em relação à história da vida na Terra, o consenso dentro da comunidade científica é de que há evidências suficientes (como veremos ao longo desta Unidade) para considerar que houve evolução biológica, ou seja, a evolução das espécies em nosso planeta pode ser considerada um fato – e a teoria da evolução procura explicar como isso ocorreu e continua a ocorrer. O que não significa que a teoria esteja pronta e acabada: vários pontos dela estão sendo debatidos, por exemplo, a importância relativa dos diversos fatores da evolução. Mas, para a comunidade científica, não há, pelo menos por enquanto, outra teoria capaz de explicar tantos fatos e de gerar novas observações e novos campos de pesquisa.

No entanto, embora a ciência possa nos dizer o que somos capazes de fazer, ela não nos diz o que devemos fazer ou o que é certo ou errado. O bem e o mal e o certo e o errado pertencem à esfera ética (estudada em Filosofia), não à esfera científica.

Para muitos filósofos, enquanto a ciência trata de questões que podem ser testadas por meio de observações ou de experimentos, outros conhecimentos tratam de questões diferentes e fora do alcance da ciência. É o caso da arte (**figura 8.11**), que nos ensina muito sobre as emoções e os sentimentos humanos. Lendo um romance, por exemplo, podemos sentir as emoções das personagens e refletir sobre as nossas emoções. A ciência, em conjunto com a arte, a religião, o conhecimento cotidiano e a filosofia (o que inclui a ética), é apenas uma parte da cultura humana. (As disciplinas de Filosofia e Sociologia exploram esses tópicos com maior detalhamento.)

Apropriar-se do conhecimento científico sem princípios éticos, porém, foi o grande engano do movimento conhecido como "darwinismo social", que, no século XIX, usou o conceito de seleção natural para tentar justificar a divisão da sociedade em classes e o imperialismo, uma vez que seria "natural" o domínio dos mais fortes sobre os mais fracos, que tenderiam a perecer. O primeiro erro foi supor que a genética e a seleção natural são os únicos fatores que influenciam o ser humano, esquecendo a importância dos valores sociais e culturais para nossa espécie. O segundo foi relacionar um fenômeno natural, a evolução, com fenômenos históricos e sociais, extrapolando de fatos naturais para questões éticas e para a complexidade da cultura humana.

Reprodução/Tarsila do Amaral Empreendimentos/ Coleção Particular, Buenos Aires, Argentina.

Figura 8.11 *Cartão postal*, obra produzida em 1929 pela artista brasileira Tarsila do Amaral (1886-1973) e que retrata em estilo modernista a cidade do Rio de Janeiro.

ATENÇÃO!
Não escreva
no seu livro!

Atividades

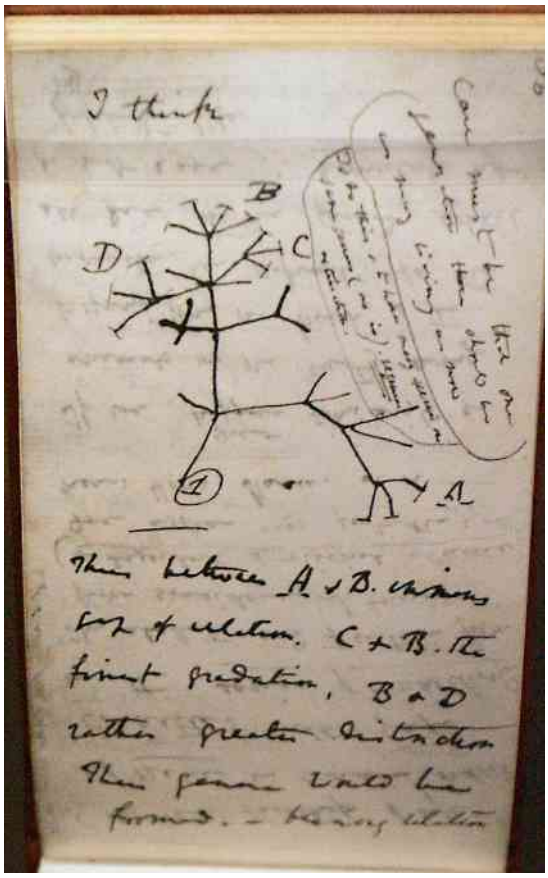
1. Se a transmissão de características adquiridas fosse válida, como deveria ser a cor da pele do filho de um casal, ambos de pele originalmente muito branca, mas que tomaram muito sol, por longos períodos, antes de gerá-lo? Em seu caderno, critique essa ideia.

2. A domesticação do lobo provavelmente começou há cerca de 30 mil anos e deu origem a uma nova espécie, o cão doméstico, que conta com raças de grande diversidade de aparência.

a) Explique como o ser humano conseguiu produzir raças de cães tão diferentes quanto bassês e labradores, por exemplo.

b) Que semelhança há entre esse processo e um dos conceitos mais importantes da teoria da evolução de Darwin? Qual é esse conceito?

3. A foto a seguir reproduz uma página do caderno de anotações de Darwin, na qual, por volta de julho de 1837, ele fez um esquema parecido com uma árvore, atualmente conhecido como "árvore da vida". De acordo com o que estudou neste capítulo, reflita: o que Darwin quis representar com esse esquema?



William Perlman/Star Ledger/Corbis/Latinstock

4. Suponha que a vantagem do pescoço longo da girafa seja a de possibilitar que esses animais se alimentem das folhas nos galhos mais altos das árvores e que esses animais tenham surgido de outros com pescoço mais curto. Como seria uma explicação baseada nas duas leis atribuídas a Lamarck? E uma baseada no princípio de seleção natural de Darwin? A partir de suas respostas, critique também a lei da transmissão dos caracteres adquiridos.

5. No seu livro *A origem das espécies*, Charles Darwin refere que "[...] uma mudança acidental no tamanho e na forma do corpo, ou na curvatura e tamanho da probóscide, pequena demais para ser notada por nós, poderia favorecer a abelha ou outro inseto de tal maneira que um indivíduo com essa característica poderia conseguir seu alimento mais rapidamente e ter maior chance de sobreviver e deixar descendentes. Esses descendentes provavelmente herdariam essa tendência. [...] Assim, posso compreender como uma flor e a abelha podem, lentamente [...], modificar-se e tornar-se adaptadas uma à outra por meio da constante preservação de indivíduos que apresentam ligeiras modificações em sua estrutura".

a) Que fenômeno origina o que Darwin chama de "uma mudança acidental no tamanho e na forma do corpo"? Explique como mudanças desse tipo aparecem.

b) A que processo Darwin se refere no trecho "[...] um indivíduo com essa característica poderia conseguir seu alimento mais rapidamente e ter maior chance de sobreviver e deixar descendentes"?

6. (UFRN) A restrição à venda de antibióticos no Brasil foi uma medida tomada em função do aparecimento de bactérias super-resistentes. Atualmente, com os avanços na área da genética e da biologia molecular, uma das explicações aceitas para o surgimento dessas bactérias é a ocorrência de mutações, a partir das quais haveria uma mudança aleatória em um determinado gene, e, dessa forma, as bactérias passariam a apresentar resistência ao antibiótico. No passado, sem o conhecimento da genética e da biologia molecular, Lamarck e Darwin elaboraram explicações para o surgimento de novas variedades de seres vivos.

Nesse contexto, como pode ser explicado o surgimento de bactérias super-resistentes

a) com base na teoria da evolução de Lamarck?

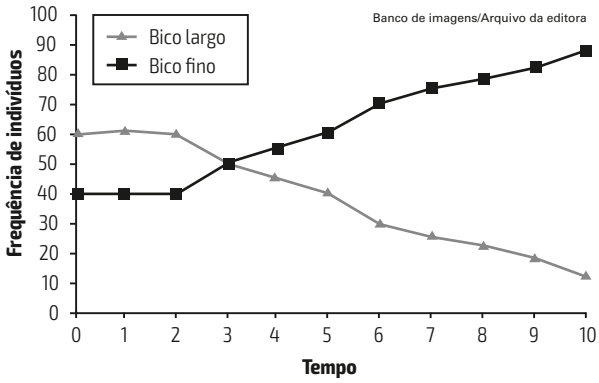
b) com base na teoria da evolução de Darwin?

7. (Unicamp-SP) Os antepassados dos golfinhos tinham patas, que, de tanto serem usadas para a natação, foram se transformando em nadadeiras.

a) A frase acima está de acordo com a teoria de Lamarck ou com a teoria de Darwin? Justifique relacionando a teoria escolhida com a frase.

b) Por que a frase está em desacordo com a teoria não escolhida?

8. (Unicamp-SP) O gráfico abaixo mostra a variação ao longo do tempo na frequência de dois fenótipos, relativos à forma do bico de uma espécie de ave. Os pesquisadores notaram uma relação dessa variação fenotípica com uma alteração na disponibilidade de diferentes tipos de organismos predados por essas aves e atribuíram a variação observada à seleção natural.



a) Explique como a variação em populações de presas pode causar as mudanças nas frequências dos fenótipos mostradas no gráfico.

b) Como o darwinismo explica o mecanismo de adaptação como parte do processo evolutivo?

9. (Enem) Os anfíbios são animais que apresentam dependência de um ambiente úmido ou aquático. Nos anfíbios, a pele é de fundamental importância para a maioria das atividades vitais, apresenta glândulas de muco para conservar-se úmida, favorecendo as trocas gasosas e, também, pode apresentar glândulas de veneno contra microrganismos e predadores.

Segundo a Teoria Evolutiva de Darwin, essas características dos anfíbios representam a:

a) lei do uso e desuso.

b) atrofia do pulmão devido ao uso contínuo da pele.

c) transmissão de caracteres adquiridos aos descendentes.

d) futura extinção desses organismos, pois estão mal-adaptados.

X e) seleção de adaptações em função do meio ambiente em que vivem.

10. (Enem) Alguns anfíbios e répteis são adaptados à vida subterrânea. Nessa situação, apresentam algumas características corporais como, por exemplo, ausência de patas, corpo anelado que facilita o deslocamento no subsolo e, em alguns casos, ausência de olhos.

Suponha que um biólogo tentasse explicar a origem das adaptações mencionadas no texto utilizando conceitos da teoria evolutiva de Lamarck. Ao adotar esse ponto de vista, ele diria que:

a) as características citadas no texto foram originadas pela seleção natural.

X b) a ausência de olhos teria sido causada pela falta de uso dos mesmos, segundo a lei do uso e desuso.

c) o corpo anelado é uma característica fortemente adaptativa, mas seria transmitida apenas à primeira geração de descendentes.

d) as patas teriam sido perdidas pela falta de uso e, em seguida, essa característica foi incorporada ao patrimônio genético e então transmitida aos descendentes.

e) as características citadas no texto foram adquiridas por meio de mutações e depois, ao longo do tempo, foram selecionadas por serem mais adaptadas ao ambiente em que os organismos se encontram.

11. (Enem) As cobras estão entre os animais peçonhentos que mais causam acidentes no Brasil, principalmente na área rural. As cascavéis (*Crotalus*), apesar de extremamente venenosas, são cobras que, em relação a outras espécies, causam poucos acidentes a humanos. Isso se deve ao ruído de seu "chocalho", que faz com que suas vítimas percebam sua presença e as evitem. Esses animais só atacam os seres humanos para sua defesa e se alimentam de pequenos roedores e aves. Apesar disso, elas têm sido caçadas continuamente, por serem facilmente detectadas.

Ultimamente os cientistas observaram que essas cobras têm ficado mais silenciosas, o que passa a ser um problema, pois, se as pessoas não as percebem, aumentam os riscos de acidentes.

A explicação darwinista para o fato de a cascavel estar ficando mais silenciosa é que

a) a necessidade de não ser descoberta e morta mudou seu comportamento.

b) as alterações no seu código genético surgiram para aperfeiçoá-la.

c) as mutações sucessivas foram acontecendo para que ela pudesse adaptar-se.

X d) as variedades mais silenciosas foram selecionadas positivamente.

e) as variedades sofreram mutações para se adaptarem à presença de seres humanos.

12. (Furg-RS) Um naturalista soltou 200 casais de pássaros da mesma espécie numa ilha afastada do continente, onde predominavam árvores com frutos de casca muito dura. Destes, 50% eram da variedade **X**, que possuía bico longo e forte, e 50% eram da variedade **Y**, com bicos curtos e fracos. Após alguns anos, pesquisadores capturaram 400 pássaros, ao acaso, e observaram 286 indivíduos da variedade **X** e 114 da variedade **Y**, o que levou à formulação de duas hipóteses:

Hipótese I: Indivíduos da variedade **Y** desenvolveram gradualmente bicos maiores e mais fortes, até se tornarem semelhantes e igualmente adaptados àqueles da variedade **X**.

Hipótese II: O tipo de alimento funcionou como fator determinante na escolha dos pássaros mais adaptados àquele ambiente, fazendo com que a variedade **X** obtivesse maior sucesso em relação à sobrevivência.

Com base no exposto, indique as teorias e leis utilizadas para a formulação das hipóteses I e II, respectivamente:

a) A teoria do transformismo e a lei do uso e desuso de Lamarck.
X b) A lei do uso e desuso de Lamarck e a teoria da seleção natural de Darwin.
c) A teoria da seleção natural de Darwin e a teoria do transformismo.
d) Ambas utilizaram a lei do uso e desuso de Lamarck.
e) Ambas utilizaram a teoria da seleção natural de Darwin.

13. (UFG-GO) Leia o texto a seguir.

Há uma grandeza nessa visão da vida. A partir de um início tão simples, infinitas formas, as mais belas e maravilhosas evoluíram e continuam evoluindo...

(Disponível em: <www.dominiopublico.gov.br>. Acesso em: 3 out. 2009.)

O pensamento descrito no texto reflete o conhecimento de que:

a) os caracteres adquiridos em função do uso e desuso são transmitidos hereditariamente.
b) o genótipo sofre sucessivas mutações de uma geração para outra.
c) os organismos surgiram espontaneamente a partir da matéria não viva.
X d) as espécies descendem umas das outras e estão ligadas por ancestral comum.
e) os seres vivos surgiram já adaptados ao ambiente e permanecem imutáveis.

14. (Enem) Embora seja um conceito fundamental para a biologia, o termo "evolução" pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas.

Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por

X a) modificação de características.
b) incremento no tamanho corporal.
c) complexificação de seus sistemas.
d) melhoria de processos e estruturas.
e) especialização para uma determinada finalidade.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar (em livros, CD-ROMs, na internet, etc.). Em seguida, apresentem o resultado do trabalho para a classe.

a) A passagem de Darwin pela América do Sul (o que inclui as visitas ao Brasil) em sua viagem a bordo do HMS Beagle (a propósito, pesquisem o que significa a expressão "HMS"; vocês podem pedir ajuda aos professores de Inglês). Descubram onde Darwin esteve, o que ele viu, quais as suas impressões sobre os locais que visitou e como essa viagem influenciou suas ideias sobre a evolução das espécies. Façam cartazes com desenhos, fotos e mapas para ilustrar o trabalho, apresentando-o também para a comunidade escolar (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis). Peçam auxílio aos professores de Geografia e História para essa pesquisa.
b) Dados biográficos, ideias e obras de alguns cientistas que colaboraram com o darwinismo ou tiveram alguma influência sobre as primeiras teorias evolutivas, como Jean-Baptiste Lamarck, Alfred Russel Wallace, Henry Walter Bates e Fritz Müller.
c) Pesquisem em *sites* e em livros de História o que foi o movimento conhecido como "darwinismo social", no século XIX. Façam críticas, demonstrando os equívocos desse movimento. Se possível, peçam auxílio aos professores de História e Filosofia.

Fique de olho!
Uma forma de apresentar os resultados da pesquisa é criar *blogs*, vídeos ou páginas em redes sociais na internet. Assim, é possível trocar ideias com pessoas dentro e fora da escola. Mas nunca se esqueçam de citar a fonte das informações expostas.

CAPÍTULO 9

A teoria sintética: variabilidade genética e seleção natural

Tomatito/Shutterstock

Macho de lebiste (*Poecilia reticulata*). O comprimento desses peixes varia de 3 cm a 5,5 cm.

Os lebistes (*Poecilia reticulata*) são peixes de água doce muito cultivados em aquários. Eles têm manchas de cores variadas pelo corpo e se reproduzem com grande rapidez. Essa espécie foi objeto de vários estudos sobre evolução que mostraram que, em ambientes com muitos predadores, os lebistes machos são menos coloridos do que nos ambientes com poucos predadores. Como explicar esse fato? Provavelmente, embora os machos mais coloridos e vistosos tenham maior potencial de atrair fêmeas, quando há muitos predadores eles acabam morrendo antes de se reproduzir. Isso deve ter favorecido os machos menos coloridos.

- *Como você explicaria as diferenças entre indivíduos de uma mesma espécie?*
- *O que você entende por 'variabilidade genética'?*

1 Um pouco de História

Vimos no capítulo anterior que Charles Darwin não sabia explicar como as variações apareciam nos organismos, já que ele não conhecia as mutações. Darwin também desconhecia a forma como essas variações podiam ser transmitidas para os descendentes porque ele não havia tido contato com as leis formuladas por Gregor Mendel.

Nas primeiras décadas do século XX, porém, pesquisadores trabalharam em uma teoria que sintetizasse os conceitos do darwinismo, as leis de Mendel e o que foi descoberto a respeito das mutações. Esse trabalho, que envolveu diversas equipes de pesquisadores, deu origem à teoria atual, conhecida como **teoria sintética da evolução**.

A descoberta dos genes e das mutações

Em 1900, as leis de Mendel foram redescobertas por Correns, Tschermak e De Vries, como vimos no Capítulo 1 deste volume. Assim, eliminava-se uma das objeções a Darwin: a de que os fatores responsáveis pelas características se misturam nos filhos. Como Mendel demonstrou, os fatores responsáveis pela hereditariedade separam-se de forma independente na formação dos gametas.

Um ano depois, De Vries questionou a teoria de Darwin ao afirmar que apenas grandes mudanças, surgidas repentinamente nos organismos, poderiam explicar a evolução. Ele achava que as pequenas variações individuais não eram suficientes para originar outras espécies, mesmo com o contínuo trabalho de seleção natural. Para ele, as novas espécies surgiam repentinamente de uma espécie anterior, sem nenhuma transição. Portanto, ele atribuía pouca importância à seleção natural.

Embora De Vries tenha chamado essas grandes mudanças de mutações, ele aplicava tal termo apenas para formas novas de plantas com anomalias no número de cromossomos. E, ainda que tenha sido por intermédio dele que essa palavra começou a aparecer na Genética, foram os trabalhos de Morgan, a partir de 1909, que introduziram no meio científico a expressão "alteração genética". Posteriormente, com a elaboração de um modelo de gene correspondente a um trecho da molécula de DNA, a mutação pôde ser explicada como uma alteração na sequência de bases nitrogenadas do DNA.

Assim, a mutação mostrou-se como a matéria-prima para a seleção natural, originando novos alelos e produzindo variações fenotípicas.

A teoria atual

A teoria atualmente aceita para explicar a evolução é a teoria sintética da evolução, também conhecida como **Neodarwinismo** ou **Nova Síntese**. O fato de essa teoria ser aceita não significa que ela não possa vir a ser corrigida e melhorada. Afinal, a característica básica das teorias científicas é sua capacidade de sofrer alterações. A teoria sintética da evolução, assim com as demais teorias científicas, está em um processo de constante reformulação e aperfeiçoamento. Nos últimos anos, por exemplo, o papel do ambiente na evolução vem sendo rediscutido dentro da teoria sintética.

Essa teoria foi desenvolvida a partir da década de 1930 com base em contribuições de cientistas de vários países, como Ronald A. Fischer (1890-1962), J. B. S. Haldane (1892-1964), Sewall Wright (1889-1988), Theodosius Dobzhansky (1900-1975), George Gaylord Simpson (1902-1984), G. Ledyard Stebbins (1906-2000) e Ernst Mayr (1904-2005).

A partir desse período, várias descobertas e novas ideias ajudaram a esclarecer pontos obscuros do darwinismo, resultando na teoria sintética, a qual considera os fatores que alteram a frequência dos genes nas populações, como a mutação, a seleção natural, a migração seguida de isolamento geográfico e reprodutivo e a deriva genética (mudança ao acaso na frequência dos genes).

A seguir, veremos a contribuição da mutação, da reprodução sexuada e da seleção natural na teoria sintética da evolução. No próximo capítulo, analisaremos a deriva genética, a migração e o isolamento geográfico e reprodutivo.

2 Variabilidade genética: mutações e reprodução sexuada

Uma mutação pode ser provocada por diversos fatores, como:

- defeitos no mecanismo de duplicação do DNA;
- fatores ambientais, como os raios ultravioleta e a radioatividade;
- certos vírus;
- ação de produtos químicos, como benzimidazol, ácido nitroso, hidrazina e gás mostarda.

Embora existam enzimas com a função de corrigir os erros de duplicação ou de reparar os estragos feitos por esses fatores, nem sempre a reparação é possível, já que esse mecanismo também pode falhar.

Mutação e evolução

Vimos que **mutação** é a mudança na sequência de bases do DNA. Essa mudança pode ser suficiente para provocar o aparecimento de uma nova característica no organismo. Isso acontece porque uma alteração na sequência de bases da molécula de DNA pode alterar a sequência de aminoácidos da proteína, o que poderá modificar suas propriedades.

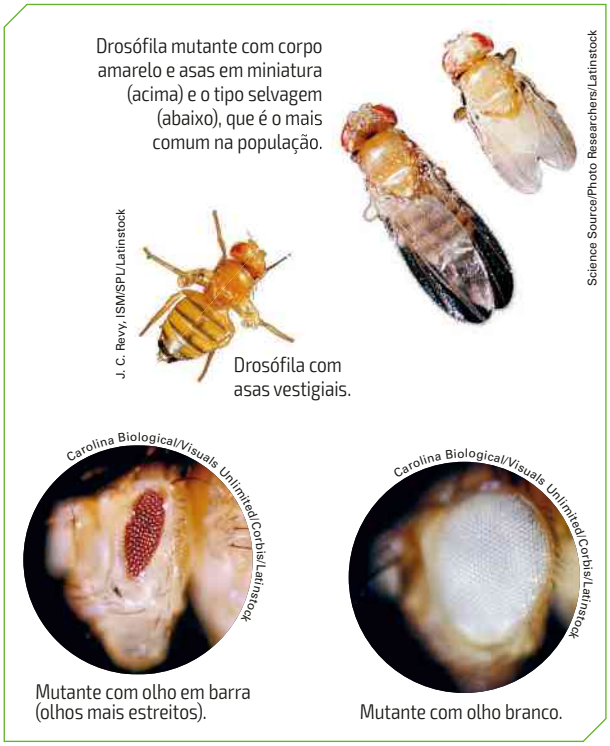


Figura 9.1 Mutações em drosófila (cerca de 3 mm de comprimento).

Quando ocorrem nas células somáticas, as mutações não causam nenhum efeito evolutivo, pois não são transmitidas aos descendentes. Em compensação, se ocorrerem nas células germinativas, podem passar às gerações seguintes e gerar novas características (figura 9.1).

Em razão da existência de um mecanismo de reparo de DNA, as mutações são um acontecimento raro; portanto, em princípio, sua frequência é muito baixa na população. Elas ocorrem ao acaso. Por exemplo, se um organismo vive em um lugar frio, esse ambiente não favorece o aparecimento de mutações que aumentem a defesa contra o frio. Qualquer mutação relacionada a qualquer função, pode ocorrer. Se, por acaso, aparecer uma mutação que resulte em um fenótipo favorável, ela será selecionada positivamente e, com isso, o número de indivíduos portadores dessa mutação aumentará com o tempo.

Um exemplo de mutação que ocorre em drosófilas atinge um grupo de genes especiais. O desenvolvimento das partes de um embrião é controlado pelos chamados **genes homeóticos**, que ativam outros genes para a construção dos diversos órgãos. Um grupo desses genes, chamados **genes Hox**, determina, por exemplo, que um segmento do corpo forme uma perna em vez de uma antena ou vice-versa. Mutações nesses genes podem fazer, por exemplo, com que surja uma mosca com quatro asas em vez de duas ou pernas no lugar de antenas (figura 9.2).

Figura 9.2 Acima, uma drosófila com asas normais e, ao lado, uma drosófila mutante com quatro asas. Abaixo, no detalhe, drosófila com pernas no lugar de antenas (microscópio eletrônico; aumento de cerca de 70 vezes; imagem colorizada por computador).

Como a população está normalmente bem adaptada ao ambiente em que se encontra, é mais provável que uma mutação seja neutra (sem vantagens adaptativas aparentes) ou provoque o surgimento de características desvantajosas. As mutações que provocam mudanças pequenas e que, eventualmente, trazem alguma vantagem podem se acumular ao longo das gerações por meio da seleção natural. Não podemos esquecer, porém, que uma mutação pode ser vantajosa em um ambiente e desvantajosa em outro.

O acaso das mutações

O conhecimento mais recente sobre o mecanismo do código genético comprovou que as mutações ocorrem ao acaso. Isso significa que, apesar de elas poderem ser provocadas pelo ambiente, a mudança na frequência das adaptações depende da seleção natural.

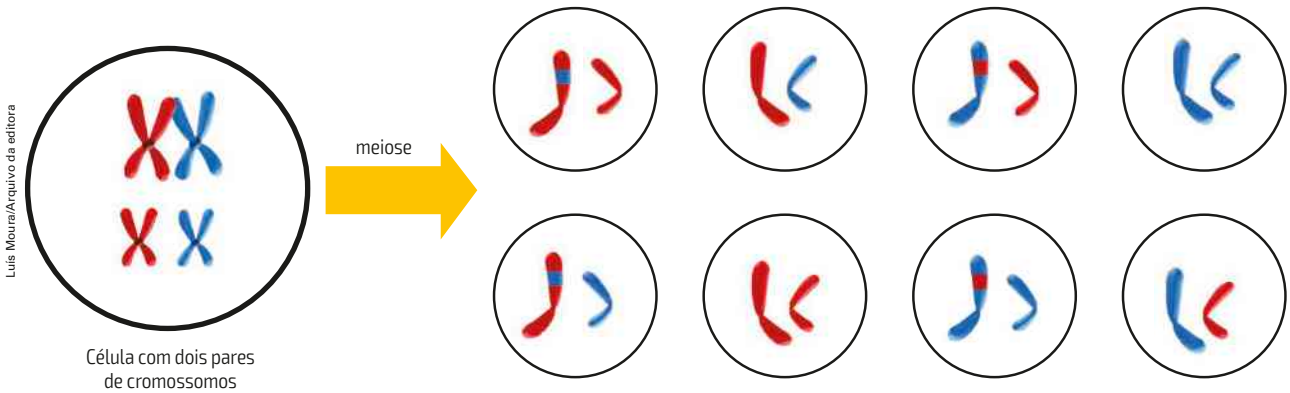
Como já vimos, o aparecimento de uma mutação favorável em determinado ambiente não é mais frequente nesse ambiente do que em qualquer outro onde a mutação poderia não ser vantajosa. Do mesmo modo, as mutações provocadas pela radioatividade não levam obrigatoriamente à formação de uma característica que dê resistência à radioatividade. Essas mutações podem resultar em características novas, que não necessariamente darão origem a vantagens adaptativas aos seus portadores.

Em resumo, a mutação ocorre independentemente de seu valor adaptativo. A chance de uma mutação aparecer não está relacionada à vantagem que ela poderá conferir ao seu portador. Mas não devemos esquecer que, se por acaso aparecer alguma mutação favorável, ela será selecionada positivamente e o número de indivíduos que a apresentam aumentará com o passar do tempo. Isso significa que, ao contrário da mutação, a seleção natural não é um processo aleatório: não é por acaso que os insetos resistentes a inseticidas ou as bactérias resistentes a antibióticos aumentam de número em ambientes com esses produtos. Por isso, não se pode dizer que a evolução como um todo ocorra ao acaso.

Reprodução sexuada

Na reprodução assexuada, os filhos são iguais aos pais. As únicas modificações resultam de mutações ocasionais. Na reprodução sexuada, a meiose produz grande variedade de gametas, que, por fecundação, podem originar muitos filhos geneticamente diferentes. Isso acontece por causa do arranjo, ao acaso, dos cromossomos paternos e maternos e graças à permutação, como vimos no Capítulo 5. Veja a figura 9.3. No caso da espécie humana, mesmo que não houvesse permutação, seria possível a formação de 8 388 608 gametas diferentes (2^{23}) a partir dos 23 cromossomos existentes. Os genes que condicionam as características do pai e da mãe são recombinados em infinitas possibilidades e produzem grande variedade de indivíduos, ou seja, grande **diversidade genética**.

Desse modo, embora a reprodução sexuada não crie novos alelos (só a mutação faz isso), ela promove recombinações, aumentando a variabilidade genética, condição necessária para a evolução. Sem variabilidade genética, não pode haver seleção natural nem evolução.



Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 9.3 O arranjo dos cromossomos paternos e maternos na meiose e a permutação aumentam a variabilidade genética dos gametas produzidos. No esquema foram representados dois pares de cromossomos. (Cromossomos são microscópicos; cores fantasia.)

Vantagens da reprodução sexuada

A longo prazo, a reprodução sexuada contribui para que as espécies se espalhem por diversos tipos de ambientes: um indivíduo menos adaptado a determinado ambiente pode ser mais adaptado a outro.

Embora isso explique por que a reprodução sexuada é importante para uma espécie a longo prazo, ainda são discutidas quais as suas vantagens para o indivíduo e seus descendentes imediatos. Afinal, devemos lembrar que a reprodução assexuada é mais rápida e consome menos energia e tempo quando comparada à forma sexuada. Os indivíduos que se reproduzem por meio do sexo precisam produzir gametas, achar parceiros (em muitas espécies) e só depois originar filhos (geralmente em menor quantidade que na reprodução assexuada).

Alguns cientistas defendem a tese de que a reprodução sexuada é uma proteção contra parasitas (organismos – vírus, bactérias, fungos, etc. – que vivem no corpo de outro organismo – o hospedeiro –, retirando alimento e provocando doenças). Cada parasita está adaptado a um tipo de hospedeiro. Para um vírus penetrar em uma célula tem de haver um encaixe entre a sua proteína e as da membrana da célula atacada. A proteína do vírus funciona como uma chave, capaz de abrir apenas um tipo de fechadura.

A vantagem da reprodução sexuada estaria então em produzir indivíduos geneticamente diferentes, dos quais alguns possuirão proteínas que não se encaixarão nas do parasita e este não conseguirá penetrar nas células. A sua "chave" não se encaixa mais na "fechadura" do hospedeiro. Assim, a reprodução sexuada produz indivíduos mais resistentes às doenças que atacavam seus pais.

3 Seleção natural

Na seleção natural são favorecidas as características que aumentam as chances de um indivíduo alcançar a idade reprodutiva, levando-o indiretamente ao sucesso reprodutivo. Esse sucesso pode ser o resultado de vários tipos de adaptação. Algumas aumentam a chance de o organismo conseguir comida (maior velocidade, dentes mais fortes, etc.); outras o ajudam a se defender dos predadores (camuflagem, mimetismo, entre outras) ou a sobreviver às condições físicas do ambiente (proteção contra o frio, contra a perda de água, etc.). Essas adaptações aumentam a chance de sobrevivência do indivíduo e, consequentemente, suas oportunidades de chegar à idade reprodutiva.

Também são beneficiados fatores que aumentam diretamente a fertilidade do indivíduo. Mesmo sobrevivendo menos tempo, ele poderá deixar um número maior de filhos que seu competidor. Outras características favorecidas são aquelas que facilitam ao indivíduo conseguir um parceiro sexual ou aumentar os cuidados com a prole, fazendo com que um número maior de filhos sobreviva até a idade reprodutiva.

Podemos dizer então que a seleção natural é uma reprodução diferencial, ou seja, uma consequência do fato de indivíduos com genótipos diferentes terem sucesso reprodutivo distinto.

Os cientistas já estudaram vários casos de seleção natural. O processo é mais facilmente observado em populações que se reproduzem de forma rápida, como bactérias e certos insetos que atacam plantações. Vejamos alguns exemplos na natureza.

A resistência de bactérias aos antibióticos

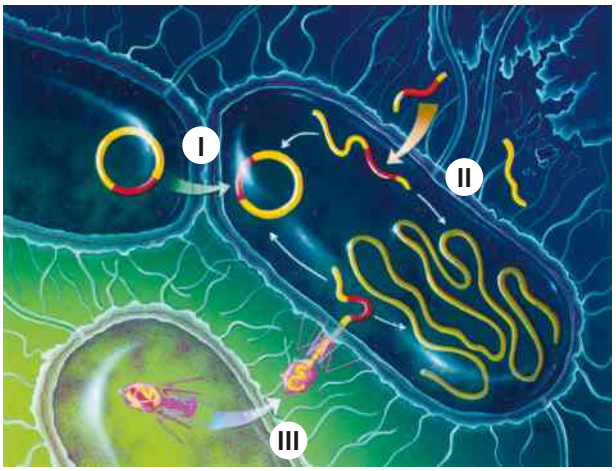
Eventualmente aparece no ambiente, por mutação, um gene que confere resistência a determinado antibiótico; a bactéria com esse gene é capaz de, por exemplo, fabricar uma enzima que destrói a substância antibiótica.

Veja que, no início, os mutantes resistentes são raros; a partir do momento em que o antibiótico aparece, esses mutantes passam a ter muito mais possibilidade de sobreviver que os indivíduos sensíveis, que são a maioria na população. Por isso a frequência de indivíduos resistentes aumenta aos poucos e eles podem acabar constituindo, depois de algum tempo, praticamente toda a população.

Se não houver antibiótico no meio em que essa bactéria mutante se encontra, a característica não lhe traz nenhuma vantagem. A presença do antibiótico, no entanto, pode alterar essa situação: as bactérias sensíveis morrem e as resistentes sobrevivem e aumentam em número na população. O gene mutante também pode ser transferido para outras bactérias por conjugação ou por meio de vírus que infectam bactérias (bacteriófagos); novas bactérias também podem adquiri-lo ao incorporar material genético liberado no ambiente por bactérias mortas (figura 9.4).

A evolução explica, então, por que encontramos hoje várias linhagens de bactérias resistentes a antibióticos, como a penicilina, que começou a ser utilizada a partir da década de 1940.

Um fenômeno semelhante ao que ocorre com as bactérias e os antibióticos acontece com insetos e inseticidas.



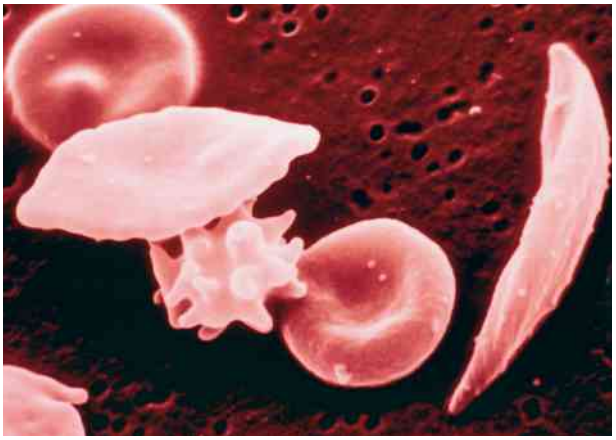
Bryson Biomedical Illustrations/Custom Medical Stock Photo/SPL/Latinstock

Figura 9.4 Três formas de surgir resistência a antibióticos: a bactéria recebe um plasmídeo de outra bactéria, com gene que confere resistência (**I**), incorporando segmentos de DNA de células mortas (**II**) ou de um vírus (**III**). A outra forma, a mutação, não está representada. (Bactérias e vírus são microscópicos; cores fantasia.)

Anemia falciforme: exemplo de seleção natural na espécie humana

Em certas regiões da África, a frequência de um alelo que causa a **anemia falciforme** (ou **siclemia**) tornou-se muito alta. Esse alelo produz uma hemoglobina anormal (figura 9.5). Os indivíduos homozigotos que possuem esses dois alelos apresentam anemia e problemas circulatórios que podem ser fatais. Os heterozigotos (indivíduos com um alelo que condiciona a anemia e outro alelo normal) ou não têm a doença ou a têm em forma branda, sem prejuízo à sobrevivência. Além disso, eles são resistentes à malária, doença comum nessas regiões da África, provocada pelo protozoário plasmódio, que parasita o fígado e as hemácias, causando a destruição dessas células. Os heterozigotos são resistentes porque os parasitas consomem o oxigênio da hemácia infectada, o que facilita a aglutinação da hemoglobina e promove a formação de hemácias em meia-lua, características da doença. Essas hemácias com má-formação serão destruídas pelo baço antes que o parasita complete seu desenvolvimento.

Assim, os indivíduos heterozigotos têm vantagem sobre as pessoas sem alelos para anemia falciforme, pois estas podem contrair a doença, e sobre os portadores de alelos para a anemia falciforme em homozigose, pois eles morrem cedo. A sobrevivência dos heterozigotos garante, naquelas regiões africanas, uma frequência maior de indivíduos heterozigotos do que em regiões onde não há malária.



Jackie Lewin, Royal Free Hospital/SPL/Latinstock

Figura 9.5 Hemácias de paciente com anemia falciforme. À direita, hemácia em meia-lua típica da doença. (A hemácia humana mede entre 6 μm e 8 μm; microscopia eletrônica; imagem colorizada por computador).

De acordo com a teoria da evolução, poderíamos esperar que, uma vez erradicada a malária, a frequência do alelo para a anemia diminuísse. Porém, apesar do uso de inseticidas e de outras medidas, a erradicação total da malária nas regiões endêmicas é muito difícil. Ainda assim, um estudo mostrou que a frequência do alelo para anemia falciforme na população dos Estados Unidos vinda de regiões malarígenas da África diminuiu para 4,2%. A maioria dessa população emigrou das regiões malarígenas da África ocidental há cerca de trezentos anos, e nessas regiões a frequência do alelo é de 12%. Portanto, a mudança de ambiente exerceu uma seleção sobre o alelo para anemia falciforme e diminuiu sua frequência na população.

Seleção sexual

Algumas características foram selecionadas e se espalharam na população porque ajudam o indivíduo a conseguir um parceiro sexual. Em certas espécies, os machos lutam entre si para conseguir fêmeas. Apenas os animais que ganham a disputa conseguem reproduzir-se. Nesse caso, são favorecidas características como força física, chifres, garras, etc. Em outras espécies, as fêmeas escolhem os machos com quem vão se acasalar e prevalecem as características que tornam os machos mais atraentes. Por exemplo, os pavões exibem-se para as fêmeas, que escolhem aqueles com cauda mais vistosa; o resultado é que, ao longo das gerações, a cauda do pavão torna-se maior e mais vistosa.

O pesquisador Malte Andersson (1952-), da Universidade de Gotemburgo (Suécia), estudando os hábitos de corte da ave da espécie *Euplectes progne*, conhecida como viúva-rabilonga, observou inicialmente que as fêmeas preferem se acasalar com os machos de cauda mais longa (figura 9.6).

Richard DuToit/Minden Pictures/Latinstock

Martin Maritz/Shutterstock/Glow Images

Figura 9.6 Macho (**A**) e fêmea (**B**) da espécie *Euplectes progne* (cerca de 20 cm de comprimento, fora a cauda).

Para testar essa hipótese, ele selecionou três grupos de aves: no primeiro grupo, cortou parte da cauda do macho. No segundo grupo, colou algumas penas na cauda, aumentando seu comprimento. O terceiro ficou inalterado, servindo como grupo de controle. Após algum tempo, contou o número de fêmeas que acasalaram com os machos de cada grupo e constatou que os de cauda artificialmente mais longa acasalaram com mais fêmeas.

O processo pelo qual certas características sexuais se propagam, por causa da maior facilidade para conseguir parceiros para a reprodução, é chamado **seleção sexual** (figura 9.7).

Para alguns pesquisadores, características como a cauda do pavão e o colorido das penas de muitos pássaros ou das escamas de várias espécies de peixes funcionam como um sinal de que o animal não tem doenças causadas por parasitas. Nesse caso, a fêmea estaria escolhendo justamente os animais mais saudáveis para ter filhotes, que herdarão as características responsáveis pelo sucesso dos pais.

Bill Ross/Corbis/Latinstock

Uapitis machos (um tipo de cervo da América do Norte, de 2 m a 2,5 m de comprimento) lutam entre si para conseguir fêmeas para acasalamento.

Darrell Gulin/Corbis/Latinstock

Pavão macho (1,8 m a 2,3 m de altura com a cauda aberta) exibindo a plumagem (as fêmeas preferem acasalar com pavões de cauda grande e vistosa).

Figura 9.7 Alguns exemplos de seleção sexual.

As limitações da seleção natural

Em certos momentos da história da Terra ocorreu a extinção de grande número de espécies – em alguns casos, mais de 80% delas – em um curto intervalo de tempo. Em termos geológicos, "curto" significa entre 10 mil e 100 mil anos. São as chamadas extinções em massa, provocadas, por exemplo, por grandes mudanças climáticas no planeta, como consequência dos movimentos das placas tectônicas ou da queda de asteroides, entre outros fatores. Nesses períodos, o fato de uma espécie estar mais adaptada que outra pode não contar nada para a sobrevivência, pois houve uma mudança drástica e imprevisível no ambiente. Nesse caso, as espécies mais adaptadas a esse novo ambiente são favorecidas.

Muitas características se originam da herança de antepassados. Por exemplo, o fato de uma baleia ter pulmões em vez de brânquias é explicado por sua história evolutiva, isto é, pelo fato de ela ter evoluído de um mamífero terrestre. Da mesma forma, o fato de ela utilizar movimentos verticais para nadar, em vez de horizontais, como fazem os peixes, deve-se à herança de uma estrutura óssea e muscular adaptada originalmente para a corrida e presente no mamífero terrestre que lhe deu origem. Portanto, mutações e seleção natural agem sobre estruturas herdadas de ancestrais, o que limita o potencial de adaptações que podem ser selecionadas em determinado ambiente.

Uma forma incorreta de ver a evolução é imaginar esse processo como uma escada, em que espécies menos adaptadas são substituídas por outras mais adaptadas. Na realidade, todas as formas atuais de vida surgiram depois de um longo processo de evolução, que produziu organismos capazes de sobreviver em determinado ambiente e deixar descendentes. Por isso não se pode dizer que um mamífero é "mais adaptado" que um réptil, por exemplo. Cada um está adaptado a um ambiente, a um modo de vida.

A história evolutiva das espécies deve ser vista então como uma árvore (figura 9.8). Como vimos nos Volumes 1 e 2 desta coleção, na ponta de cada ramo da árvore estão as espécies atuais e em cada nó está representado o ancestral comum aos dois ramos que bifurcam.

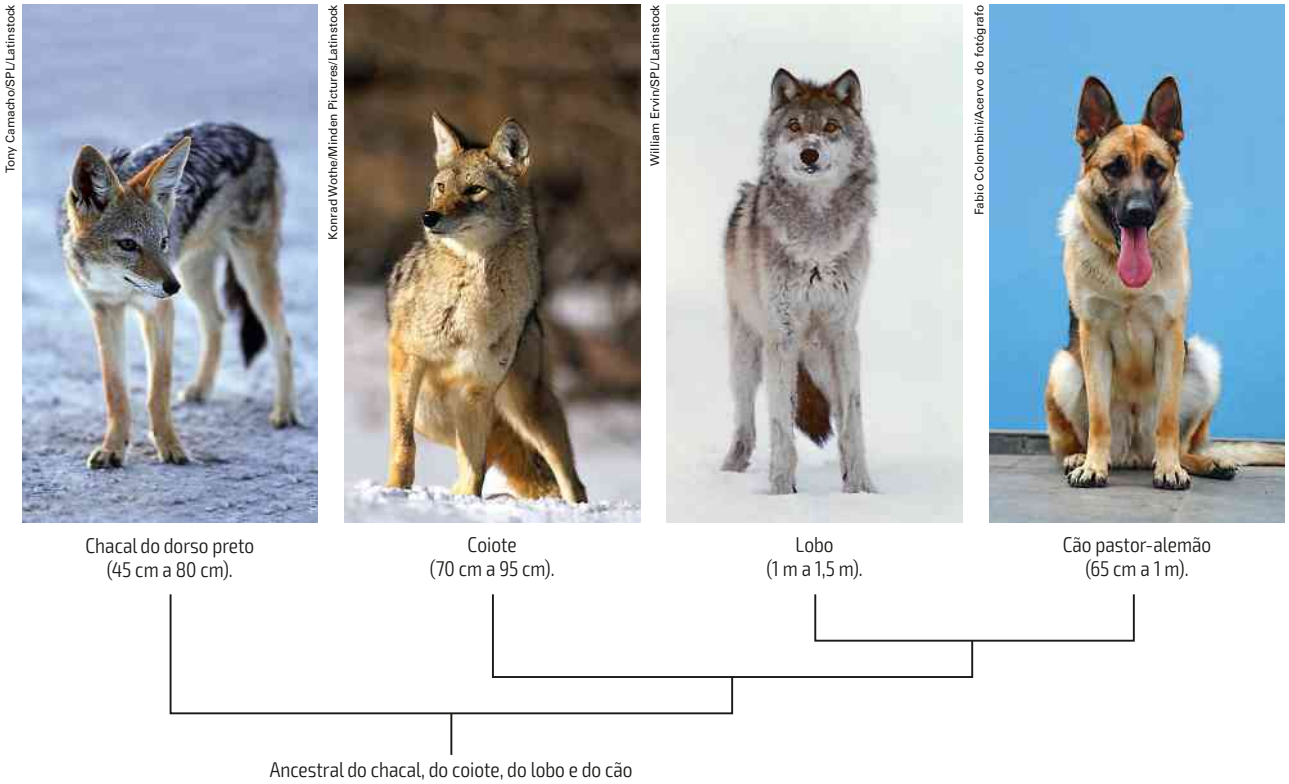


Figura 9.8 Árvore filogenética simplificada. Podemos ver que o cão é evolutivamente mais aparentado com o lobo do que com os outros animais, já que ambos possuem um ancestral comum exclusivo ou mais recente (que não existe mais). O esquema mostra também o grau de parentesco evolutivo desses animais com outras duas espécies, o chacal e o coiote. (As medidas indicam o comprimento do animal, fora a cauda.)

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Certa mutação provocada por radioatividade resulta obrigatoriamente em uma característica que dá resistência à radioatividade? Justifique sua resposta.

2. Utilizando seus conhecimentos sobre evolução, explique por que a vacina contra a gripe precisa ser tomada todos os anos. (A vacina é indicada para pessoas com mais de 60 anos, mas, em certos casos, o médico também pode indicá-la para pessoas de outras faixas etárias.)

3. Algumas linhagens de microrganismos são capazes de usar como alimento moléculas sintéticas, isto é, que não existiam na natureza, foram fabricadas pelo ser humano. Um exemplo é uma linhagem de bactérias do gênero *Pseudomonas*, capazes de produzir enzimas que quebram ligações químicas das moléculas de um subproduto do náilon (o náilon começou a ser produzido na década de 1940). Em um experimento de laboratório, linhagens dessa bactéria que não fabricam a enzima foram cultivadas por várias gerações em um meio de cultura com esse subproduto, até que um mutante capaz de digeri-lo apareceu. Foi o material sintético que provocou o aparecimento desse mutante? Justifique sua resposta.

4. Por que as mutações que afetam apenas as células somáticas não têm um efeito significativo em termos de evolução como aquelas que afetam as células germinativas ou os gametas?

5. (PUC-RJ)

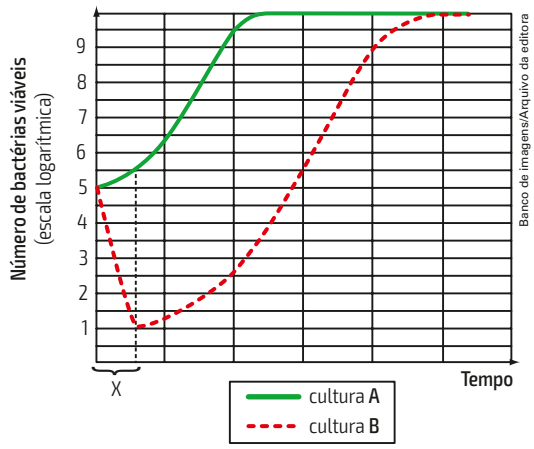
No nosso Planeta vive uma diversidade de organismos, cada qual com particularidades genéticas, que são específicas de cada indivíduo. Em uma dada população (por exemplo, uma população de papagaio-verdadeiro) existem diferenças genéticas entre os indivíduos, o que chamamos de variabilidade genética.

Disponível em: <www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos/>.

Explique por que a variabilidade genética em uma população é pré-requisito para a evolução.

6. (Ufla-MG) "Dona Gertrudes tinha no seu quintal uma horta de couves. Toda vez que apareciam lagartas comendo as folhas de couve, ela ia até o armazém do seu Zé do Adubo, e comprava o inseticida 'terror das lagartas' receitado por ele. No entanto, a cada ano que passava, ela percebia que o 'remédio' fazia menos efeito, mesmo que ela aumentasse a dose recomendada." Explique, sucintamente, usando os conceitos de evolução, mutação gênica, seleção natural e mudança ambiental, o que ocorreu na horta de dona Gertrudes, supondo, para responder à pergunta, que o produto não estivesse adulterado.

7. (Fuvest-SP) Uma colônia de bactérias em que todos os indivíduos se originaram de uma única célula era incapaz de metabolizar lactose. Durante várias gerações, essas bactérias foram cultivadas em meio que continha glicose e lactose. Dessa cultura, foram retiradas duas amostras com quantidades iguais de células, que foram transferidas para novos meios de cultura: o meio **A** continha apenas glicose e o meio **B** apenas lactose como únicas fontes de carbono. O gráfico abaixo mostra as curvas de crescimento bacteriano nas culturas **A** e **B**.



a) Como surgiram as bactérias capazes de sobreviver na cultura **B**?

b) Dê a razão para a diferença entre as curvas **A** e **B** no intervalo **X**.

8. (UFJF-MG) Em função da ocorrência de pragas em sua lavoura, um agricultor usou, durante anos seguidos, um produto químico não mutagênico para o combate aos insetos. Gradativamente, a eficácia do produto no controle dos insetos foi reduzida. Sobre o episódio descrito é correto afirmar que:

a) o produto químico provocou alterações no DNA dos insetos.

b) o produto químico provocou alterações no RNA dos insetos.

c) o produto químico perdeu sua eficácia em função do prazo de validade.

X d) os indivíduos resistentes já existiam na população e foram selecionados.

9. (FGV-SP) Em entrevista aos meios de comunicação, o infectologista David Uip, à época diretor-executivo do Incor, afirmou que, ao longo dos últimos séculos, as epidemias têm se tornado menos avassaladoras, ou seja, algumas doenças, apesar do alto potencial de transmissão, apresentam taxas de mortalidade menores que antigamente. Tal fato, cogita o médico, deve-se à "esperteza" do vírus, adquirida ao longo das gerações. Essa propriedade do elemento viral — a sua esperteza — pode ser compreendida no contexto de um conceito biológico que é:

a) a mutação. Os vírus sofrem mutações específicas visando tornarem-se menos virulentos. Desse modo, propiciam quadros mais leves da doença, o que resulta em menor número de óbitos, além de permitir que proliferem por mais tempo.

b) a evolução. Os vírus evoluem visando tornarem-se menos virulentos. Desse modo, propiciam quadros mais leves da doença, o que resulta em menor número de óbitos, além de permitir que proliferem por mais tempo.

X c) a seleção natural. As formas mais virulentas são eliminadas juntamente com seus hospedeiros e as formas que propiciam quadros mais leves da doença, o que resulta em menor número de óbitos, acabam por se proliferar por mais tempo.

d) a adaptação. Independentemente dos vírus, os hospedeiros se adaptam ao grau de virulência do agente patogênico, tornando-se mais resistentes à doença, o que resulta em menor número de óbitos e oportunidade para os vírus proliferarem por mais tempo.

e) a competição. As formas mais virulentas do agente patogênico, mais eficientes em provocar a doença, proliferam mais rapidamente que as formas menos virulentas. Desse modo, ao longo das gerações, aumentam em frequência na população de hospedeiros.

10. (FGV-SP) *A respeito da tendência das espécies em formar variedades e da perpetuação das variedades e espécies por meios naturais de seleção.*

Assim começava a leitura dos trabalhos de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace, há 150 anos, na noite de 10 de julho de 1858, em uma reunião da Sociedade Lineana, em Londres.

Desde então, muito se pesquisou sobre os mecanismos evolutivos e estabeleceu-se que a sequência de eventos que explica a mudança evolutiva da população é:

a) alteração do fenótipo → mutação → alteração do genótipo → seleção.

X b) mutação → variabilidade de genótipos → variabilidade de fenótipos → seleção.

c) seleção → alteração do fenótipo → produção de novos alelos → mutação.

d) variabilidade de fenótipos → variabilidade de genótipos → mutação → seleção.

e) variabilidade de fenótipos → produção de novos alelos → seleção → mutação.

11. (UFSM-RS)

Aproximadamente 30 milhões de hectares do planeta são afetados por sais, e de 0,25 a 0,5 milhão de hectares de área produtiva é perdido a cada ano em função da salinização do solo.

Fonte: FAO, 2002 apud Willadino & Camara, 2010. (adaptado).

A informação apresentada tem preocupado agricultores, ambientalistas e pesquisadores. Em busca de novos cultivares de plantas adaptadas a solos com maior salinidade, pesquisadores do mundo inteiro estão intensificando estudos sobre espécies de plantas halófitas, que são naturalmente adaptadas a altas concentrações de sais no solo. Considerando-se os mecanismos gerais de evolução por seleção natural, apresentados por Darwin e Wallace, é possível inferir:

a) Futuramente, todas as espécies cultivadas estarão adaptadas ao excesso de sais no solo, pois, ao longo do seu crescimento, cada indivíduo realizará adequações metabólicas profundas que garantirão sua sobrevivência.

b) Para que as plantas se adaptem a solos com alta salinidade, basta submetê-las lentamente a doses crescentes de solução salina, estimulando a ocorrência de mutações que as tornarão resistentes.

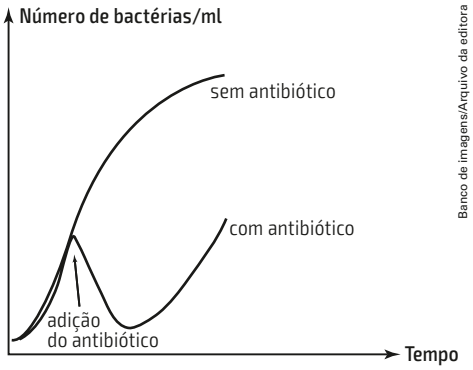
X c) Poderão ocorrer mutações ao acaso em certos indivíduos, algumas delas conferindo resistência à alta salinidade e permitindo maior sucesso reprodutivo dos indivíduos portadores dessa mutação nos solos com alta salinidade, em comparação com aqueles indivíduos não portadores da mutação.

d) Poderão ocorrer mutações específicas, causadas pelo excesso de sais, que serão direcionadas pela planta para resistência à alta salinidade.

e) É inútil procurar novas plantas adaptadas à alta salinidade do solo além das já conhecidas, pois as espécies são imutáveis.

12. (PUC-RJ) Foram introduzidas em dois frascos, que continham um mesmo meio de cultura, quantidades idênticas de um tipo de bactéria. Após algum tempo de incubação, adicionou-se a apenas um dos frascos um antibiótico estável, de uso frequente na clínica e cuja concentração não se modificou durante todo o experimento. O gráfico a seguir representa a variação do número de bactérias vivas no

meio de cultura, em função do tempo de crescimento bacteriano em cada frasco.



A observação do gráfico permite concluir que, no frasco em que se adicionou o antibiótico, ocorreu uma grande diminuição no número de bactérias e em seguida um aumento do seu crescimento. Segundo a teoria de evolução neodarwiniana, o fato observado nos frascos com antibiótico tem a seguinte explicação:

X a) a dose usada de antibiótico eliminou a maioria da população selecionando uma minoria resistente que voltou a crescer.
b) a dose usada de antibiótico eliminou a grande maioria das bactérias e a minoria sobrevivente se adaptou às condições, voltando a crescer.
c) a dose usada de antibiótico provocou uma lentidão no crescimento das bactérias que, após algum tempo, adaptaram-se e voltaram a crescer.
d) a dose usada de antibiótico inibiu o crescimento da maioria das bactérias, mas, após a sua degradação, essas bactérias começaram a crescer novamente.
e) a dose usada de antibiótico estimulou a adaptação de bactérias, que demoraram mais a crescer.

13. (UFPR) A seleção natural é um dos principais fatores responsáveis pela evolução, juntamente com a mutação, a deriva genética e a migração genética. Para que a seleção natural ocorra em uma população, é imprescindível que haja:

a) alteração do meio ambiente, propiciando o favorecimento de alguns indivíduos da população.
X b) diversidade da composição genética dos indivíduos da população.
c) informações genéticas anômalas que produzam doenças quando em homozigose.
d) disputa entre os indivíduos, com a morte dos menos aptos.
e) mutação em taxa compatível com as exigências ambientais.

14. (Enem) O que têm em comum Noel Rosa, Castro Alves, Franz Kafka, Álvares de Azevedo, José de Alencar e Frédéric Chopin? Todos eles morreram de tuberculose, doença que ao longo dos séculos fez mais de 100 milhões de vítimas.

Aparentemente controlada durante algumas décadas, a tuberculose voltou a matar. O principal obstáculo para seu controle é o aumento do número de linhagens de bactérias resistentes aos antibióticos usados para combatê-la. Esse aumento do número de linhagens resistentes se deve a:

a) modificações no metabolismo das bactérias, para neutralizar o efeito dos antibióticos e incorporá-los à sua nutrição.
X b) mutações selecionadas pelos antibióticos, que eliminam as bactérias sensíveis a eles, mas permitem que as resistentes se multipliquem.
c) mutações causadas pelos antibióticos, para que as bactérias se adaptem e transmitam essa adaptação a seus descendentes.
d) modificações fisiológicas nas bactérias, para torná-las cada vez mais fortes e mais agressivas no desenvolvimento da doença.
e) modificações na sensibilidade das bactérias, ocorridas depois de passarem um longo tempo sem contato com antibióticos.

15. (Enem) *Os progressos da Medicina condicionaram a sobrevivência de número cada vez maior de indivíduos com constituições genéticas que só permitem o bem-estar quando seus efeitos são devidamente controlados através de drogas ou procedimentos terapêuticos. São exemplos os diabéticos e os hemofílicos, que só sobrevivem e levam vida relativamente normal ao receberem suplementação de insulina ou do fator VIII da coagulação sanguínea.*

Salzano, M. Francisco. *Ciência Hoje*, SBPC, 21 (125), 1996.

Essas afirmações apontam para aspectos importantes que podem ser relacionados à evolução humana. Pode-se afirmar que, nos termos do texto:

X a) os avanços da Medicina minimizam os efeitos da seleção natural sobre as populações.
b) os usos da insulina e do fator VIII da coagulação sanguínea funcionam como agentes modificadores do genoma humano.
c) as drogas medicamentosas impedem a transferência do material genético defeituoso ao longo das gerações.
d) os procedimentos terapêuticos normalizam o genótipo dos hemofílicos e diabéticos.
e) intervenções realizadas pela Medicina interrompem a evolução biológica do ser humano.

16. (Fuvest-SP) Os resultados de uma pesquisa realizada na USP revelam que a araucária, o pinheiro brasileiro, produz substâncias antioxidantes e fotoprotetoras. Uma das autoras do estudo considera que, possivelmente, essa característica esteja relacionada ao ambiente com intensa radiação UV em que a espécie surgiu há cerca de 200 milhões de anos. Com base na Teoria Sintética da Evolução, é correto afirmar que:

a) essas substâncias surgiram para evitar que as plantas sofressem a ação danosa da radiação UV.

b) a radiação UV provocou mutações nas folhas da araucária, que passaram a produzir tais substâncias.

X c) a radiação UV atuou como fator de seleção, de maneira que plantas sem tais substâncias eram mais suscetíveis à morte.

d) a exposição constante à radiação UV induziu os indivíduos de araucária a produzirem substâncias de defesa contra tal radiação.

e) a araucária é um exemplo típico da finalidade da evolução, que é a produção de indivíduos mais fortes e adaptados a qualquer ambiente.

17. (Ufpel-RS) Das teorias evolucionistas, destaca-se o neodarwinismo ou teoria sintética da evolução, que aborda o binômio variação/seleção. A variação ou variabilidade é uma característica que pode ser verificada com facilidade nas espécies biológicas. Quais são os dois mecanismos fundamentais que causam essa variabilidade?

a) Adaptação e seleção natural.

b) Mutações e seleção natural.

X c) Mutações e recombinação gênica.

d) Ambiente e recombinação gênica.

Atividade prática

Para realização desta atividade, providenciem o seguinte material:

- tesouras sem pontas, para papel;
- lápis e borrachas;
- fita adesiva incolor;
- folhas de cartolina das mesmas cores ou bem parecidas das paredes e da porta da sala de aula e do tampo das carteiras;
- folhas de cartolina de cor mais escura (que contraste com as primeiras).

Reunidos em grupos, desenhem nas folhas de cartolina figuras de pequenas mariposas pousadas. ATENÇÃO: todas as figuras devem ter aproximadamente a mesma forma (fazer apenas o contorno do inseto) e o mesmo tamanho (de 2 cm a 3 cm da ponta de uma asa à ponta da outra). O professor pode copiar com folha de papel de seda uma foto do livro, para servir de modelo para todos os grupos. Em seguida, usando a tesoura sem pontas (com cuidado, para evitar acidentes) os grupos devem recortar as figuras.

Dois alunos são escolhidos para aguardar do lado de fora da sala, enquanto os outros prendem as mariposas nas carteiras, na porta e nas paredes da sala (por exemplo, usando um rolinho feito com a fita adesiva, colocado no verso da figura). ATENÇÃO: deve ser distribuído aleatoriamente pela sala o mesmo número de mariposas de cada cor.

Em seguida, os alunos que saíram retornam e devem recolher o maior número possível de mariposas em apenas 15 segundos. Um deles pode recolher apenas as mariposas da parede, enquanto o outro retira as que estiverem na porta e nas carteiras.

Todos farão a contagem do número de mariposas capturadas de cada cor, e depois cada grupo deve responder às seguintes questões:

a) Quais as cores das mariposas capturadas em menor número nas carteiras e na porta? E nas paredes? Expliquem esse resultado.

b) Suponham que dois tipos de mariposa, de cor escura e de cor clara, vivam sobre troncos e ramos escuros das árvores de uma floresta. Se houver pássaros que comam essas mariposas, que tipo de mariposa estará mais adaptada a esse ambiente? Por quê?

c) Na situação relatada na questão anterior, que tipo de mariposa tende a desaparecer da população ao longo do tempo, se, nesse mesmo período, a cor dos ramos e troncos não se alterar?

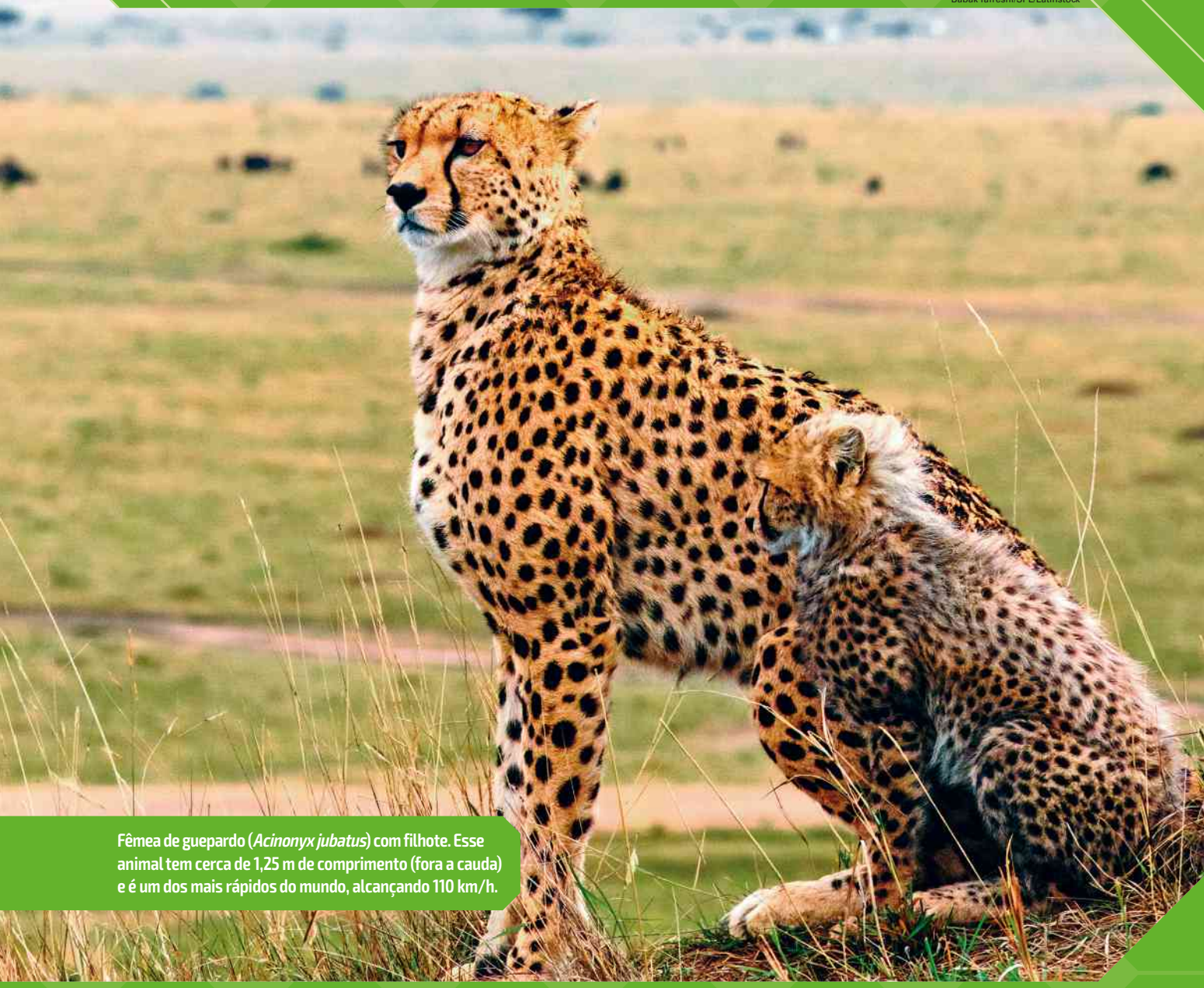
d) Em evolução, como se chama o processo pelo qual os seres vivos mais adaptados aumentam em número na população, enquanto os menos adaptados diminuem?

e) Suponham que em uma população de mariposas de uma floresta todas tenham uma cor clara. Perto da floresta instalou-se uma fábrica e troncos e ramos ficaram cobertos de fuligem. Um estudante observou então a presença de uma mariposa escura, nunca antes observada. E também notou que o cruzamento dessa mariposa com uma mariposa clara, em laboratório, originou descendentes escuros e claros. Teria sido a fuligem a causa do aparecimento dessa primeira mariposa escura? Justifiquem sua resposta.

CAPÍTULO 10

A teoria sintética: genética das populações e formação de novas espécies

Babak Tafreshi/SPL/Latinstock



Fêmea de guepardo (*Acinonyx jubatus*) com filhote. Esse animal tem cerca de 1,25 m de comprimento (fora a cauda) e é um dos mais rápidos do mundo, alcançando 110 km/h.

No ano de 2003, a população de ararinhas-azuis (*Cyanopsitta spixii*), nativas do Brasil, era de apenas 55 indivíduos. Se esses indivíduos são capazes de se reproduzir, por que essa espécie não consegue se recuperar? Nesse caso, isso acontece em razão da falta de variabilidade genética na população. Como todos os indivíduos são geneticamente semelhantes, um único parasita pode dizimar a população inteira em pouco tempo. Algo semelhante ocorre com os guepardos (*Acinonyx jubatus*) na África: a população foi muito reduzida e agora a variabilidade genética da população é pequena, o que a deixa mais vulnerável.

- *Como as transformações no ambiente podem influenciar no aparecimento de novas espécies?*
- *O que você acha que deve acontecer com a frequência de alelos recessivos e dominantes ao longo do tempo?*

1 Evolução: uma mudança na frequência dos alelos da população

A evolução pode ser definida como uma mudança, ao longo do tempo, da frequência dos alelos de uma população. Portanto, são as populações que evoluem. A parte da Biologia que estuda como essa mudança ocorre é conhecida como **Genética de populações**.

Se um alelo é responsável por uma característica útil à sobrevivência ou à reprodução, o número de indivíduos portadores desse alelo tende a aumentar na população por meio da seleção natural ao longo do tempo. Com isso, a frequência desse alelo também aumenta. O oposto tende a acontecer com alelos que prejudicam a sobrevivência ou o sucesso reprodutivo de um indivíduo.

Além da seleção, que outros fatores podem alterar a frequência dos alelos de uma população? Será que essa frequência pode ser alterada pelas leis da hereditariedade, ou seja, pela meiose e pela fecundação ao acaso? Ou será que o fato de um alelo ser dominante pode fazer com que sua frequência aumente ao longo do tempo?

Lei de Hardy-Weinberg

No início do século XX, muitos cientistas pensavam que os alelos dominantes deveriam aumentar na população, ocorrendo o oposto com os alelos recessivos. Em 1908, o geneticista Reginald Punnett (que estudou interação gênica, como vimos no Capítulo 4), apresentou esse problema para o matemático inglês Godfrey Harold Hardy (1877-1947). Hardy e o médico alemão Wilhelm Weinberg (1862-1937) demonstraram, de forma independente, que, na ausência de fatores evolutivos (mutação, seleção natural, migração, deriva genética, etc.), a frequência dos alelos não muda ao longo das gerações. Essa conclusão ficou conhecida como **lei**, **teorema**, ou **princípio de Hardy-Weinberg** (leis com um papel fundamental em uma teoria são chamadas também de "princípios").

Eles calcularam o que aconteceria com a frequência de dois alelos (**A** e **a**) ao longo das gerações nas seguintes condições:

- a população é muito grande (o suficiente para que não ocorram desvios ou mudanças significativas por causa do acaso na frequência dos alelos);
- não há mutações;
- não há migrações (não podem entrar nem sair genes da população);
- todos os genótipos devem ter a mesma chance de sobrevivência ou reprodução (não há seleção natural);
- os cruzamentos ocorrem ao acaso, isto é, não há seleção sexual – a população é pan-mítica (do grego *pân* = todos; *mixis* = misturado).

Em primeiro lugar, devemos compreender o que é frequência de um alelo de uma população. Vejamos um exemplo numérico.

Em uma população com 500 indivíduos, 320 são **AA**, 160 são **Aa** e 20 são **aa**. A frequência do alelo **A** é a sua proporção em relação ao total de alelos para a característica em questão. Como cada indivíduo tem dois alelos, o número de alelos é igual ao número de indivíduos multiplicado por 2, o que significa que há 1 000 (500 × 2) alelos para a característica em questão. O número de alelos **A** é 2 × 320 (cada indivíduo **AA** tem dois alelos **A**) + 160 (cada indivíduo **Aa** tem apenas um alelo **A**). Existem, portanto, 800 alelos **A**, e a sua frequência é 0,8 ou 80% (800/1 000). Do mesmo modo, a frequência do alelo **a** será 0,2 ou 20%.

O que Hardy e Weinberg demonstraram foi que, na ausência de fatores evolutivos, a proporção dos alelos na população não muda e, após uma geração de cruzamentos ao acaso, as frequências dos genótipos também não se alteram e podem ser representadas por: $p^2 + 2pq + q^2$. Em seu cálculo, eles

atribuíram ao alelo **A** a frequência inicial **p** e, ao seu alelo **a**, a frequência **q**. Como, em princípio, eram os únicos alelos, temos:

$$p + q = 1 \text{ ou } 100\%$$

Como cada gameta possui apenas um alelo de cada par, a proporção de gametas na população com o alelo **A** também é **p**, e a proporção de gametas com o alelo **a** é **q**.

De acordo com as leis de Mendel e com os princípios da probabilidade, a proporção de indivíduos **AA** na geração seguinte seria $p \times p$ ou p^2 (regra da multiplicação das probabilidades). Isso significa que, como existem **p** espermatozoides **A** e **p** óvulos **A**, a chance de esses dois gametas se encontrarem é $p \times p$ ou p^2.

Do mesmo modo, a frequência de indivíduos **aa** seria $q \times q$ ou q^2. Como os indivíduos **Aa** podem surgir de duas maneiras diferentes (um espermatozoide **A** fecunda um óvulo **a** ou um espermatozoide **a** fecunda um óvulo **A**), sua proporção seria $pq + pq$ ou $2pq$ (regra da soma das probabilidades). Observe a tabela a seguir.

Espermatozoide / Óvulo	A (p)	a (q)
A (p)	**AA** (p^2)	**Aa** (pq)
a (q)	**Aa** (pq)	**aa** (q^2)

Hardy e Weinberg demonstraram que a frequência relativa do alelo **A** não se alterou; ela continua valendo **p**, como na geração anterior. O raciocínio é o seguinte: como há p^2 indivíduos **AA**, há $2p^2$ alelos **A**, pois cada indivíduo **AA** tem dois alelos **A**. O alelo **A** aparece também nos indivíduos **Aa**. Como há 2pq indivíduos **Aa**, o número de alelos **A** é 2pq. O total de alelos **A** é:

$$2p^2 + 2pq = 2(p^2 + pq)$$

Como o total de alelos da população é $2(p^2 + 2pq + q^2)$, a frequência relativa de alelos **A** é:

$$2(p^2 + pq)/2(p^2 + 2pq + q^2)$$

$$\text{ou } p(p + q)/(p + q)^2$$

$$\text{ou } p/(p + q)$$

Como $p + q = 1$ (no denominador da equação), a frequência de **A** continua sendo **p**. O mesmo tipo de cálculo pode ser feito para mostrar que a frequência de **a** continua sendo **q**. Portanto, a frequência dos alelos **A** e **a** se manteve igual à da geração inicial. Quando a frequência de alelos e de genótipos de uma população se mantém, dizemos que a população está em **equilíbrio gênico**.

Pelo que foi demonstrado, vemos que apenas as leis de Mendel e a reprodução sexuada não alteram a frequência dos alelos em uma população. E o fato de **A** ser um alelo dominante também não faz com que sua frequência aumente ao longo das gerações.

Com base nessa população hipotética, podemos caracterizar matematicamente a evolução. Como dissemos, esta ocorre quando a frequência dos alelos de uma população se altera ao longo das gerações. Podemos então usar a lei de Hardy-Weinberg para descobrir se está havendo alteração na frequência de determinados alelos ao longo do tempo: temos de comparar a frequência obtida a partir da lei com a frequência obtida na prática e ver se houve ou não um desvio significativo entre elas. O desvio é causado por um dos fatores evolutivos. Podemos também tentar descobrir e quantificar que fator está provocando essa alteração. A lei ajuda ainda a tentar descobrir se um alelo está submetido à ação da seleção natural ou se tem um efeito neutro.

Cálculo da frequência de alelos

A equação $p^2 + 2pq + q^2$ é o desenvolvimento do binômio $(p + q)^n$, para $n = 2$. Os binômios são estudados em Álgebra, uma divisão da Matemática, e aqui funcionam como ferramenta para o cálculo da frequência de alelos.

Com essa equação, podemos calcular a frequência de determinado alelo ou indivíduo, considerando um dado real obtido de uma amostra da população. Esse dado pode ser a frequência de indivíduos dominantes ou recessivos na população.

Podemos afirmar que a frequência obtida nos cálculos é verdadeira apenas para essa geração. Ela não se manterá obrigatoriamente ao longo das gerações seguintes, pois a população real sofre, por exemplo, mutações e seleção natural.

Vejamos um exemplo de aplicação da lei de Hardy-Weinberg com esse objetivo. Vamos analisar apenas dois alelos, mas a lei pode ser estendida para alelos múltiplos.

Sabendo que a frequência de indivíduos albinos (genótipo **aa**) em uma população em equilíbrio é 1%, vamos calcular a frequência dos genótipos possíveis nessa geração.

Usamos a fórmula $p + q = 1$ e as seguintes convenções:

- frequência do alelo **A** = p
- frequência do alelo **a** = q
- frequência de indivíduos **AA** = p^2
- frequência de indivíduos **Aa** = 2pq
- frequência de indivíduos **aa** = q^2

A frequência de **aa** (q^2) é 1%. Então, $q^2 = 0{,}01$ e $q = 0{,}1$. Logo:

$$p = 1 - q = 1 - 0{,}1 = 0{,}9$$

Com esses valores, podemos descobrir a frequência dos outros genótipos:

- frequência de **AA** (p^2) = 0,81 ou 81%
- frequência de **Aa** (2pq) = $2 \times 0{,}9 \times 0{,}1 = 0{,}18$ ou 18%

Quando sabemos a frequência de indivíduos dominantes, é mais fácil calcular primeiro a frequência dos indivíduos recessivos e depois a do alelo recessivo. A frequência do alelo dominante é calculada pela fórmula $p = 1 - q$.

Nesse exemplo, se fossem 99% de indivíduos não albinos, calcularíamos a frequência de indivíduos **aa** e depois a de alelos **a**: $q^2 = 1 - 0{,}99 = 0{,}01$; $q = 0{,}1$.

Mutação e seleção natural são fatores evolutivos, uma vez que alteram a frequência gênica da população. A mutação porque introduz novos alelos na população. A seleção natural porque faz com que alguns genótipos tenham maior sucesso reprodutivo do que outros. Por exemplo: a frequência relativa de bactérias com alelos que conferem resistência a determinado antibiótico aumenta em ambientes com o antibiótico, enquanto a frequência dos alelos que não conferem resistência diminui. A migração também altera essa frequência ao provocar o fluxo de alelos de uma população para outra. O último fator evolutivo é a deriva genética, que veremos a seguir.

Deriva genética

A frequência dos alelos em uma população pode mudar ao acaso. Isso pode ser observado mais facilmente em populações pequenas, por exemplo, quando, por acaso, morrem mais indivíduos **aa** do que **AA** ou vice-versa.

Observe que essa mudança na frequência não ocorreu por mutação ou seleção natural, mas por acaso. Os indivíduos mortos ou que não tiveram descendentes não eram, nesse caso, os menos adaptados. Ou seja, desvios determinados pelo acaso podem alterar a frequência de um alelo independentemente de seu valor adaptativo.

Esse fenômeno é chamado **deriva** ou **oscilação genética**. Diferentemente da seleção natural, ele causa desvios na lei de Hardy-Weinberg mesmo sem proporcionar uma adaptação da espécie ao seu ambiente.

Uma alteração na frequência de alelos pode ser percebida mais facilmente quando enchentes, terremotos, incêndios ou outras catástrofes ecológicas provocam a morte de grande número de indivíduos de forma não seletiva. Essa redução drástica do tamanho de uma população é chamada **efeito gargalo**, porque é como se apenas uma parte da população conseguisse passar pela abertura estreita do gargalo de uma garrafa (figura 10.1). Com o efeito gargalo, há grande perda de variabilidade genética e a distribuição genética das populações poderá, nesse caso, ser bastante afetada.

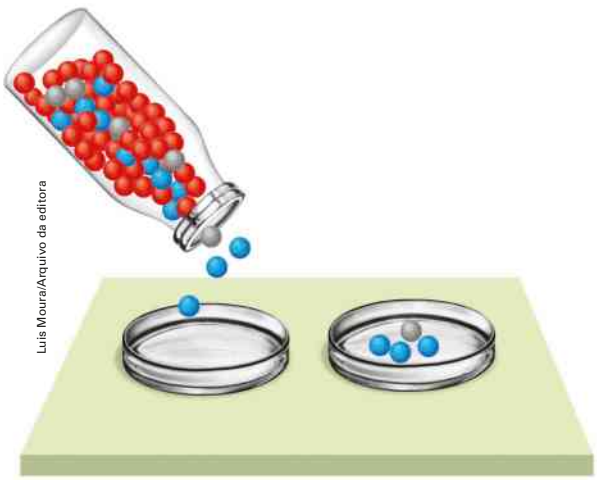


Figura 10.1 Efeito gargalo: a proporção relativa das bolas despejadas da garrafa pode ser bem diferente da proporção dentro da garrafa. Algo semelhante acontece com a composição genética de uma população que teve uma grande e rápida redução de tamanho devido a alguma catástrofe.

Foi o que ocorreu entre 20 mil e 10 mil anos atrás, quando algum fator (seca prolongada, destruição de *habitat*, etc.) reduziu muito o número de guepardos na África. Com isso, a variabilidade genética da população diminuiu (figura 10.2).

Uma alteração na frequência alélica pode ocorrer ainda quando um pequeno grupo de indivíduos de uma população migra para um novo *habitat*. Nesse pequeno grupo, a distribuição dos alelos pode ser diferente da que ocorre na população original, causando uma alteração na frequência dos alelos em relação àquela população. Esse tipo de deriva genética é chamado **efeito do fundador**.

Os descendentes de europeus que colonizaram a África do Sul (africânderes), por exemplo, apresentam alta frequência de uma doença genética chamada porfiria, que causa danos ao fígado e é rara em outras populações. Isso acontece porque a população de africânderes foi formada de uma população inicial pequena (apenas trinta famílias europeias), na qual, por acaso, a frequência do alelo para aquela doença era maior do que na população europeia original.

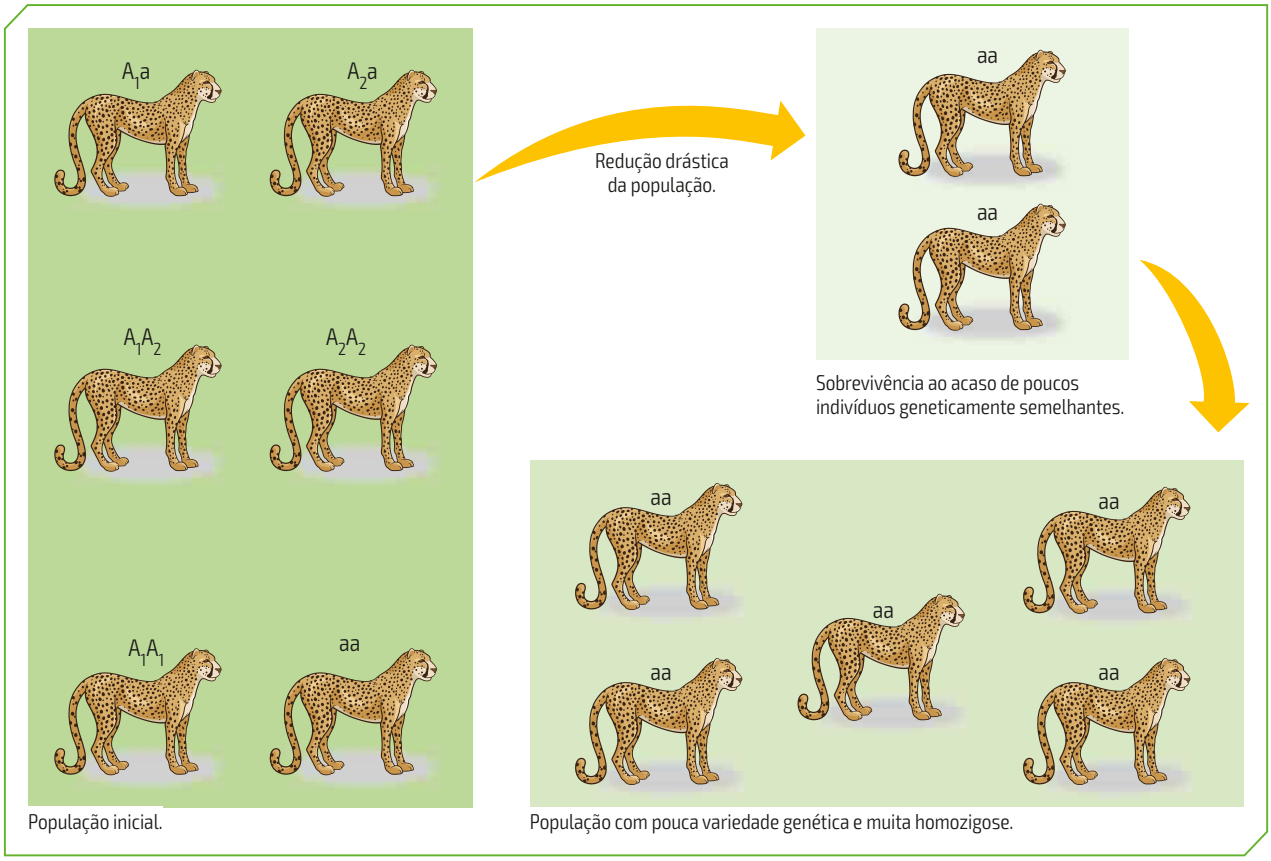
2 Formação de novas espécies

Uma espécie é formada por um grupo de populações capazes de se cruzar e originar filhos férteis, mas que não são capazes de cruzar com outros grupos.

Essa definição, chamada **conceito biológico de espécie**, como já vimos nos volumes anteriores, não se aplica aos organismos fósseis e aos seres que se reproduzem assexuadamente, como as bactérias. Embora esses microrganismos possam trocar material genético por conjugação, esse processo é bem diferente de um cruzamento e não possibilita identificar uma espécie. Nesses casos, podem ser usados critérios de semelhanças morfológicas (por exemplo, para classificar fósseis) ou genéticas, pela análise do DNA.

Há outras formas de caracterizar uma espécie, como o **conceito filogenético de espécie**, que define a espécie como o menor grupo de indivíduos que compartilham um ancestral comum mais exclusivo.

Vamos usar aqui o conceito biológico de espécie, que é bastante útil para explicar a **especiação**, isto é, a formação de novas espécies.



Ilustrações: Alexey Pushkin/Shutterstock/Glow Images

Figura 10.2 A deriva genética e o cruzamento em um pequeno grupo reduziram a variabilidade genética dos guepardos. (Cores fantasia.)

Isolamento geográfico

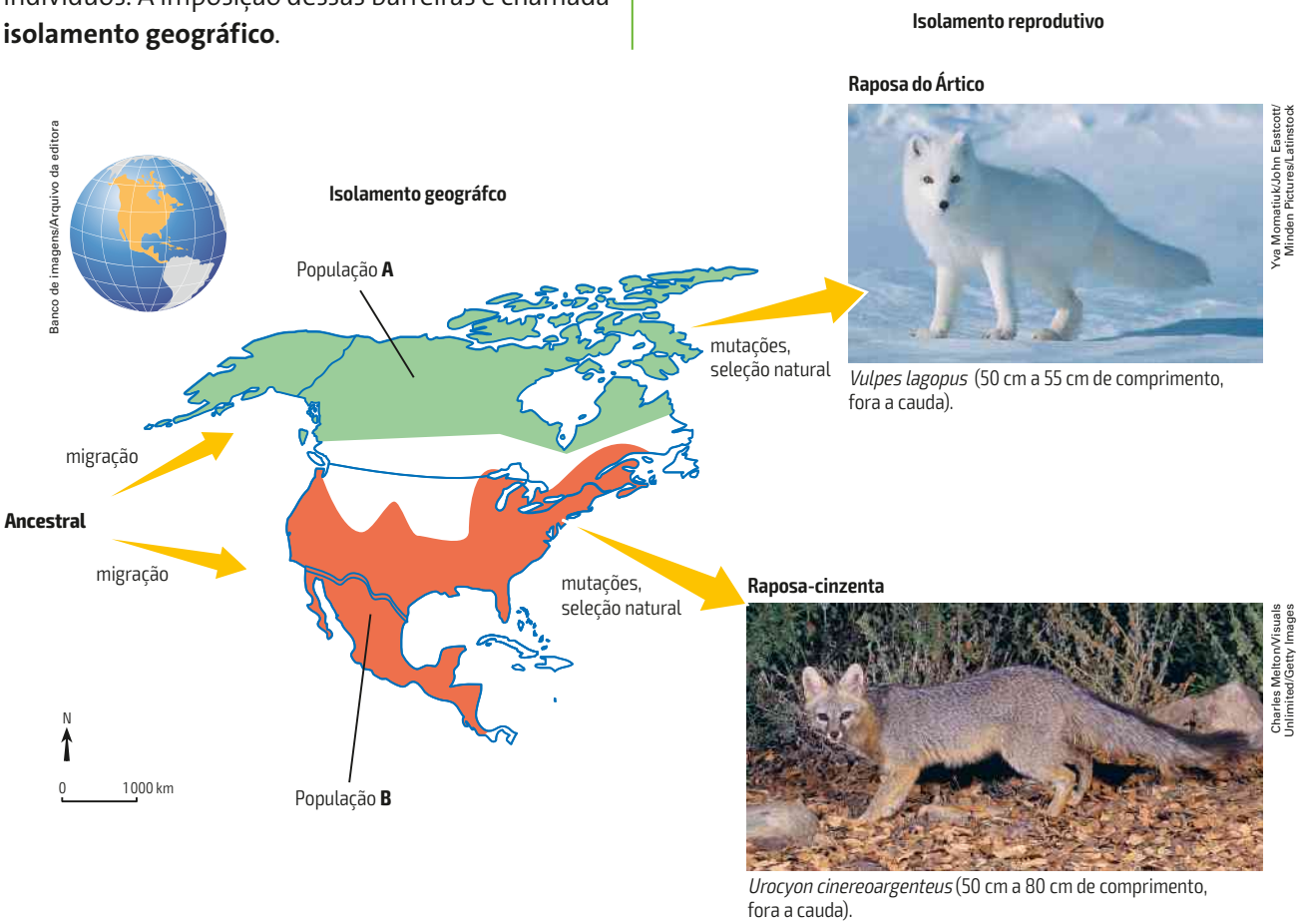
A raposa do Ártico é encontrada ao norte dos Estados Unidos, e a raposa-cinzenta, na região sul. Análises genéticas mostram que essas duas espécies descendem de uma mesma espécie ancestral de raposas (figura 10.3).

Vamos supor que uma população inicial de raposas tenha se dividido em duas: uma delas migrou e chegou até o sul dos Estados Unidos; outra dirigiu-se para o norte da América do Norte. Durante esse período, as duas populações de raposas permaneceram isoladas, sem cruzamentos entre os indivíduos das duas populações (a própria distância faz com que o cruzamento seja muito difícil e ocorra raramente). Nesse caso, cada população evoluirá separadamente, sem que haja intercâmbio de genes entre elas.

As barreiras que impedem o cruzamento entre as populações são muito variadas. Podem ser representadas, por exemplo, por obstáculos geográficos, como um rio, uma cadeia de montanhas ou até mesmo uma grande distância entre as populações. Tudo vai depender da capacidade de deslocamento dos indivíduos. A imposição dessas barreiras é chamada **isolamento geográfico**.

O clima ao norte dos Estados Unidos é mais frio do que na região sul: geralmente, quanto maior a latitude, menor a temperatura (a influência da latitude e de outros fatores no clima é estudada em Geografia). Então, uma vez isoladas em condições ambientais distintas, as mutações selecionadas em cada ambiente devem ser diferentes. Mutações que favoreçam a sobrevivência em regiões frias serão selecionadas positivamente (aumentarão de frequência na população) nas raposas do norte: pelagem mais densa, pernas, orelhas e caudas mais curtas (as extremidades do corpo perdem calor mais facilmente), etc. As raposas do sul, ao contrário, tendem a ter pelagem menos densa e pernas, orelhas e caudas mais longas, que facilitam a perda de calor (figura 10.3).

O acúmulo seletivo de mutações pode fazer as raposas do norte ficarem cada vez mais diferentes das raposas do sul. Essas diferenças vão se acumulando a ponto de caracterizar a formação de duas ou mais **subespécies** ou **raças geográficas**.



Vulpes lagopus (50 cm a 55 cm de comprimento, fora a cauda).

Yva Momatiuk/John Eastcott/ Minden Pictures/Latinstock

Urocyon cinereoargenteus (50 cm a 80 cm de comprimento, fora a cauda).

Charles Melton/Visuals Unlimited/Getty Images

Figura 10.3 Condições ambientais diversificadas selecionaram diferentes características da população original.

Isolamento reprodutivo

As subespécies são originalmente populações da mesma espécie que vivem geograficamente isoladas e por isso acabaram desenvolvendo diferenças genéticas. Apesar dessas diferenças, o cruzamento entre subespécies pode ocorrer. No entanto, esse evento é raro, porque as subespécies vivem em diferentes *habitat*.

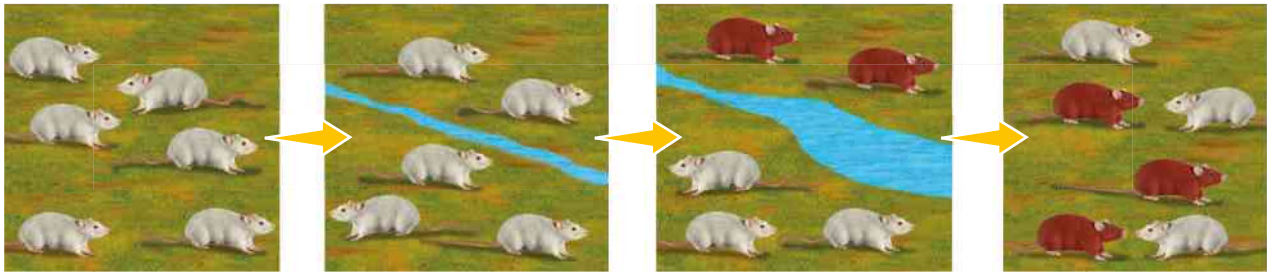
Se o isolamento geográfico terminar em um intervalo de tempo não muito longo, como aconteceria se um rio que separa duas subespécies de ratos secasse, as mudanças genéticas ocorridas em uma população se espalhariam para as outras, e não teríamos mais duas subespécies.

Persistindo o isolamento geográfico por um grande período de tempo, chega-se a um ponto em que as diferenças genéticas impedem o cruzamento entre as populações, mesmo que o isolamento seja superado (veja a figura 10.4).

Quando, pelo isolamento geográfico, uma população se torna diferente da original e atinge um **isolamento reprodutivo**, dizemos que surgiu uma nova espécie (especiação). Isso provavelmente ocorreu com as duas populações de raposas: a raposa do Ártico pertence à espécie *Vulpes lagopus*, e a raposa-cinzenta, à espécie *Urocyon cinereoargenteus* (reveja a figura 10.3).

Assim, os indivíduos de uma espécie estão isolados reprodutivamente dos indivíduos de outras espécies. Isso quer dizer que uma espécie não troca genes com outra, mesmo que elas habitem a mesma região. Em outras palavras, não há fluxo gênico entre duas espécies; os novos genes surgidos por mutação em uma espécie não passam para outra. Por isso, cada espécie segue seu próprio "caminho evolutivo", isto é, elas evoluem separadamente (figura 10.4).

Os mecanismos responsáveis pelo isolamento reprodutivo podem ser **pré-zigóticos** e **pós-zigóticos**.



Luis Moura/Arquivo da editora

População de ratos (em torno de 7 cm a 16 cm de comprimento, fora a cauda) da mesma espécie.

Uma barreira geográfica surge. A mesma espécie é formada por duas populações isoladas geograficamente.

Ao longo do tempo, as duas populações acabam sofrendo mudanças genéticas, formando subespécies que ainda são capazes de se reproduzir.

Após muito tempo, mesmo que o isolamento geográfico desapareça, as subespécies não se cruzam mais e formam, portanto, duas espécies diferentes.

Michael e Patricia Fogden/Minden Pictures/Latinstock

Michael e Patricia Fogden/Minden Pictures/Latinstock

koji hirano/Shutterstock

Figura 10.4 Na formação de novas espécies, o isolamento geográfico forma subespécies. Se o isolamento persistir, pode haver um isolamento reprodutivo e a formação de novas espécies. Nas fotos, duas espécies de esquilos (*Ammospermophilus harrisii*, à esquerda, e *Ammospermophilus leucurus*, à direita; cerca de 14 cm a 17 cm de comprimento, fora a cauda) que vivem em lados opostos do desfiladeiro Grand Canyon (Estados Unidos).

Mecanismos pré-zigóticos

Esses mecanismos impedem o encontro dos gametas ou dos casais potenciais (macho de uma população e fêmea de outra). Não há acasalamento nem fecundação. Há cinco desses mecanismos:

- **isolamento estacional**, **sazonal** ou **temporal** – ocorre quando duas populações, mesmo ocupando o mesmo *habitat*, se reproduzem em épocas diferentes. É muito comum em plantas que florescem em épocas diferentes do ano;
- **isolamento comportamental** ou **etológico** (a Etologia é a ciência que estuda o comportamento animal) – ocorre quando há diferença de comportamento (do grego *éthos* = hábito) entre as espécies, particularmente nos rituais de acasalamento. Nessa situação, as fêmeas reconhecem apenas um padrão típico do macho da própria espécie: um tipo de dança, de movimento de cabeça ou de asa, por exemplo. No caso dos pássaros canoros, a fêmea só aceita parceiros sexuais com o canto típico da própria espécie;
- **isolamento mecânico** – não existe "ajuste" entre as peças genitais dos parceiros por causa de diferenças anatômicas. Ocorre também em flores cujas partes estão adaptadas a polinizadores diferentes: um tipo de flor pode ser polinizado apenas por beija-flores, por exemplo, e outro tipo, apenas por abelhas;
- **isolamento gamético** – a fecundação não ocorre por incompatibilidade entre os gametas. Pode não haver um encaixe entre as proteínas na membrana dos dois gametas ou, na fecundação interna, o gameta masculino não sobrevive no sistema reprodutor feminino da outra espécie;
- **isolamento de *habitat*** ou **ecológico** – as duas populações vivem na mesma área geográfica, mas em diferentes *habitat*. Até meados do século XIX, leões e tigres eram comuns na Ásia (os leões asiáticos foram muito caçados; hoje eles existem apenas em uma área protegida na floresta de Gir, na Índia). Os dois animais não se cruzavam porque os leões asiáticos viviam nas savanas e os tigres, nas florestas (figura 10.5).

Mecanismos pós-zigóticos

Esses mecanismos ocorrem em etapas posteriores à fecundação, o que impede o desenvolvimento do embrião ou provoca a esterilidade dos descendentes. Há dois tipos:

- **inviabilidade do híbrido** – as diferenças genéticas entre os híbridos de duas populações impedem que os genes atuem de forma coordenada e harmoniosa durante o desenvolvimento embrionário. Em consequência, o embrião não completa o seu desenvolvimento ou o indivíduo morre antes de atingir a idade de reprodução;
- **esterilidade do híbrido** – neste caso, o híbrido é viável, mas não é capaz de produzir gametas funcionais, o que pode ser causado por diferenças no número

Neelsky/Shutterstock/Glow Images

Anan Kaewkhammul/Shutterstock/Glow Images

Figura 10.5 Leão asiático (*Panthera leo persica*; um pouco menor que o africano; 1,7 m a 2,5 m de comprimento, fora a cauda) e tigre (*Panthera tigris*; 1,4 m a 2,6 m, fora a cauda).

ou na estrutura dos cromossomos herdados dos pais, que prejudica o pareamento na meiose. Também pode haver outras alterações, como desenvolvimento anormal do fuso mitótico, que prejudica o movimento dos cromossomos em direção aos polos da célula. Um exemplo de híbridos são o burro e a mula, animais resistentes ao trabalho pesado e resultantes do cruzamento entre o jumento ($2n = 62$) e a égua ($2n = 64$). Em alguns casos raros, a mula pode procriar (figura 10.6).

Os mecanismos de isolamento reprodutivo podem ser divididos também em **pré-copulatórios** (antes da cópula) e **pós-copulatórios** (depois da cópula). No primeiro caso estão os isolamentos estacional, comportamental e mecânico, que impedem que o ato sexual (cópula) aconteça. Já o isolamento gamético e a inviabilidade, ou esterilidade, do híbrido são fenômenos pós-copulatórios, ou seja, apesar de a cópula ser viável e gerar descendentes, os indivíduos produzidos não podem dar continuidade à linhagem.

Federicofoto/Shutterstock/Glow Images

Jumento (até 1,3 m de altura).

Sergio Schnitzler/Shutterstock/Glow Images

Mula (até 1,7 m de altura).

Sari ONeal/Shutterstock/Glow Images

Égua (cerca de 1,5 m de altura).

Mary Beth Angelo/Photo Researchers/Latinstock

Zebroide (1,5 m a 1,7 m de altura).

Figura 10.6 A mula é um híbrido do cruzamento entre égua e jumento. O zebroide é um híbrido do cruzamento entre cavalo e zebra.

Um exemplo de especiação: os tentilhões de Darwin

Na figura 10.7 você pode ver os pássaros encontrados por Darwin em Galápagos, hoje conhecidos como tentilhões de Darwin. Essas aves são muito semelhantes entre si e diferem principalmente no tipo de bico, que é adaptado ao tipo de alimentação.

Darwin supôs que as várias espécies de tentilhões teriam surgido de um grupo pequeno desses pássaros vindo do continente sul-americano. Análises de DNA confirmaram essa suposição e permitiram reconstruir a história evolutiva dessas espécies. O pássaro atual mais próximo evolutivamente dos ancestrais dos tentilhões é a cigarra-parda (*Tiaris obscurus*). Foram identificados também os genes que regulam o desenvolvimento embrionário do bico de algumas espécies de tentilhões, tornando-o mais largo ou mais estreito.

Ocasionalmente, alguns descendentes desse grupo migraram para outras ilhas do arquipélago. Em cada ilha, a população se adaptou a um tipo de alimento disponível. As ilhas estão muito distantes entre si, de modo que a migração de pássaros entre elas é muito rara. O isolamento geográfico, seguido do isolamento reprodutivo, levou à formação das várias espécies de tentilhões. Hoje, podemos encontrar diversas espécies vivendo na mesma ilha, mas, por causa do isolamento reprodutivo, elas não se cruzam.

O processo pelo qual uma espécie se espalha por vários ambientes e origina um número grande de espécies diferentes é chamado **irradiação adaptativa**.

Outro exemplo desse processo são os mamíferos, pois, de um único ancestral, surgiu um grande número de espécies diferentes, adaptadas aos mais variados modos de vida.

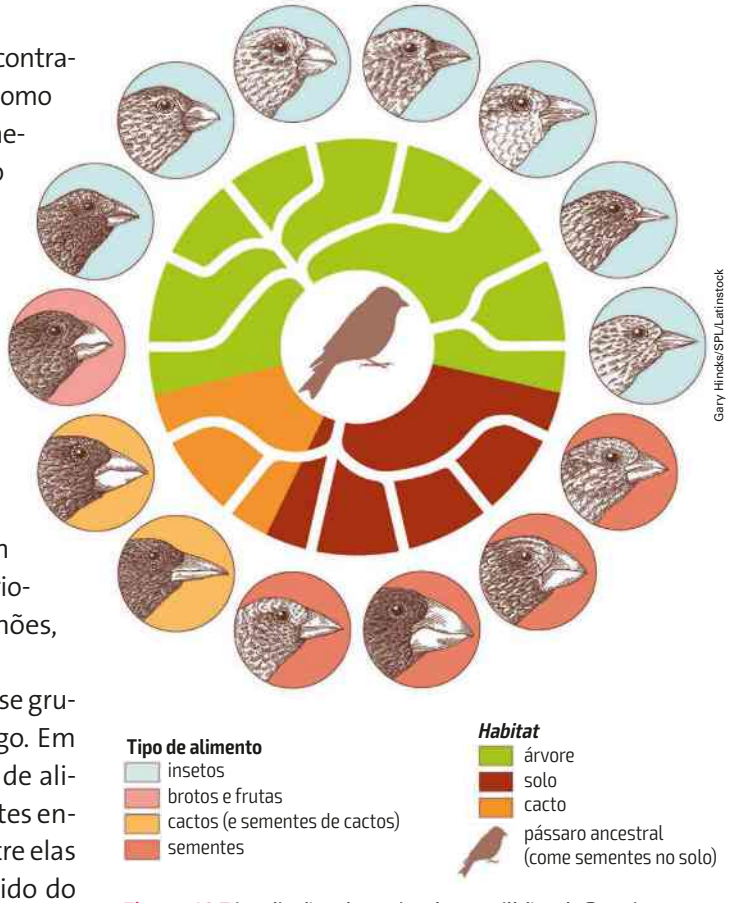


Figura 10.7 Irradiação adaptativa dos tentilhões de Darwin (10 cm a 20 cm de comprimento; figura sem escala; cores fantasia).

Especiação sem isolamento geográfico

Vimos que novas espécies surgem quando duas populações ficam isoladas uma da outra de modo que não haja intercâmbio genético entre elas. O impedimento mais comum desse intercâmbio é o isolamento geográfico. No entanto, em alguns casos, o intercâmbio de genes pode ser impedido sem que ocorra esse tipo de isolamento, e podem surgir novas espécies que vivam na mesma área geográfica.

Essa forma de especiação, que ocorre em uma população vivendo na mesma área, é chamada **simpátrica** (do grego *syn* = juntamente; *patria* = pátria); a especiação em espécies isoladas geograficamente se chama **alopátrica** (do grego *alloio* = diferente).

Uma modalidade de especiação simpátrica ocorre em plantas pela formação de indivíduos poliploides, como o trigo, a batata, o algodão e o tabaco. A poliploidia pode acontecer quando são produzidos gametas diploides (2n) por causa da não disjunção dos cromossomos durante a meiose (figura 10.8). Se esses gametas fecundarem outros gametas diploides, forma-se um indivíduo tetraploide (4n), comum em plantas com flores e, muitas vezes, mais resistente e produtivo que as plantas diploides.

Por que podemos considerar que indivíduos tetraploides formam uma nova espécie?

A explicação é que, se um gameta diploide – produzido pelas plantas tetraploides – fecundar um gameta haploide – produzido por uma planta normal –,

será formada uma planta triploide (3n). Essa planta é um híbrido estéril, pois, como possui número ímpar de cromossomos de cada tipo, não ocorre o emparelhamento correto de cromossomos na meiose, e os gametas não são formados. Um exemplo de planta triploide é a laranja-da-baía; ela não produz gametas nem sementes e propaga-se assexuadamete por enxertos. Assim, as plantas tetraploides ficam isoladas reprodutivamente da planta original diploide e só formam descendentes férteis com outras plantas tetraploides. Portanto, podemos dizer que essas plantas formam uma nova espécie.

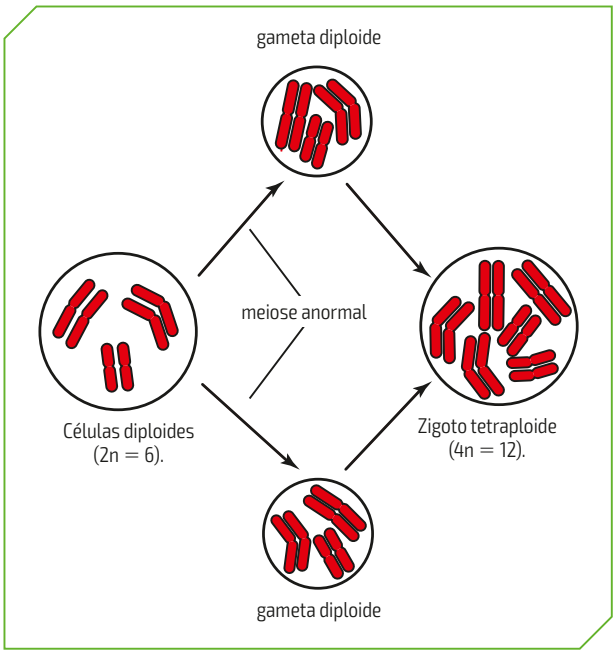
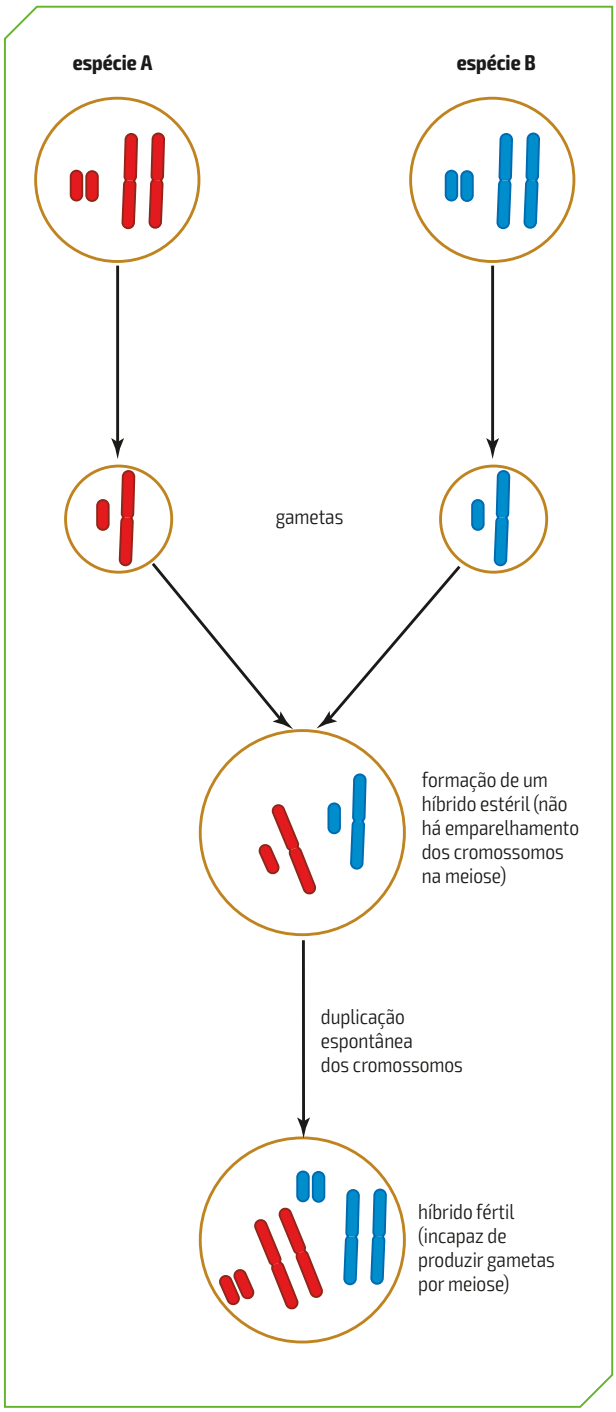


Figura 10.8 Esquema da formação de uma planta tetraploide por união de gametas diploides. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cromossomos – em vermelho – são microscópicos; cores fantasia.)

Em alguns casos, pode se formar um híbrido fértil. Se os seus cromossomos se duplicarem sem que a célula sofra divisão, cada cromossomo passa a ter outro correspondente para se emparelhar na meiose, e são produzidos gametas normais (**figura 10.9**).

Esse tipo de poliploidia, originado pela duplicação de dois conjuntos haploides diferentes de cromossomos e surgido geralmente após um cruzamento interespecífico, é chamado **alopoliploidia** (do grego *allos* = outro; *poliplós* = múltiplo; *eidos* = semelhante), para diferenciá-lo da **autopoliploidia** (do grego *autós* = si próprio, originada da duplicação de um mesmo conjunto de cromossomos.

Cerca de 40% das espécies de plantas cultivadas são poliploides. O triticale é um cereal híbrido (alopoliploide) que foi obtido no cruzamento do trigo (*Triticum* sp.) com o centeio (*Secale* sp.), sendo mais resistente a condições de acidez do solo que o trigo. É utilizado principalmente na alimentação de animais.



Ilustrações: Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

Figura 10.9 Esquema da formação de um híbrido fértil em plantas. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala; cromossomos – em vermelho e azul – são microscópicos; cores fantasia.)

Raças na espécie humana?

Para afirmar que duas populações isoladas geograficamente pertencem a raças ou subespécies diferentes, tem de haver certo número de características genéticas que, em conjunto, seja exclusiva de uma das populações ou, pelo menos, bem mais frequente em uma população do que em outra.

No caso da espécie humana, a diferença genética entre dois indivíduos e entre duas populações é muito pequena e a variabilidade genética dentro de um grupo populacional é maior do que entre dois grupos (figura 10.10). Isso significa que pode haver mais diferenças genéticas entre dois europeus brancos do que entre um europeu e um africano, por exemplo. Assim, para o biólogo estadunidense Jared Diamond (1937-), dependendo das diferenças genéticas que selecionarmos, uma pessoa poderia pertencer a vários grupos diferentes. Se escolhêssemos, por exemplo, a presença da enzima lactase em adultos, os suecos seriam colocados no mesmo grupo dos fulas (grupo formado por várias populações da África ocidental). Mas se o critério fosse a presença de genes que conferem resistência à malária, os suecos seriam agrupados com os xhosas (grupo de sul-africanos que falam a língua xhosa). Isso significa que, conforme o critério escolhido – genes para resistência à malária; para a presença de lactase no organismo; para a cor da pele; para impressões digitais, etc. –, os grupos humanos que comporiam as "raças" seriam completamente diferentes.

Em 2010, um estudo sobre o genoma de pessoas do grupo khoisan, que vivem no sudoeste da África, mostrou que as diferenças genéticas entre dois indivíduos desse grupo que vivem próximos um do outro era maior do que entre qualquer um deles e um europeu de pele branca ou um japonês.

Ryan McVay/Stone/Getty Images

Figura 10.10 Apesar da diversidade aparente, todos pertencemos a uma única raça, a raça humana.

O pesquisador brasileiro Sergio Danilo Pena (1947-) e sua equipe realizaram vários estudos sobre a origem do povo brasileiro, concluindo que é impossível dividi-lo em raças biológicas, pois a maioria das pessoas possui genes herdados de ancestrais brancos, negros e indígenas – independentemente, por exemplo, da cor da pele. Isso significa que uma pessoa pode ter a pele clara, mas a maior parte de sua herança genética pode ser de origem africana.

A ideia de "raça pura" é não apenas absurda, em relação à espécie humana, como indesejável – por questões éticas e também porque a variabilidade genética em uma espécie é importante para a sua sobrevivência. Também é absurdo falar em "raça superior" ou "raça inferior", ignorando a grande diversidade genética em cada população. Qualquer tentativa de formar uma "raça pura", de fazer com que todos os indivíduos da espécie humana sejam geneticamente muito parecidos, ameaçaria sua sobrevivência.

O conceito de raça é, portanto, uma construção social que, muitas vezes, serve apenas de pretexto para o preconceito e o racismo. A ideia de que há raças superiores a outras não tem base científica, serviu apenas para justificar a dominação e a exploração de um grupo por outro. Além de injusta, essa atitude discriminatória acaba levando à violência e à intolerância. Por isso, o racismo deve ser combatido com leis severas.

É importante ainda lembrar que nós, da espécie humana, somos capazes de, conscientemente, compreender que a cooperação é importante para todos – independentemente da cor da pele, do sexo, da religião ou da classe social de cada um.

Uma educação que aproxime as pessoas, que valorize a diversidade, que elimine preconceitos, funciona como um antídoto contra o racismo – e todos ganham com isso.

(Fontes de pesquisa: Barbujani, G. *A invenção das raças*. São Paulo: Contexto, 2007. Cavalli-Sforza, L. L.; Cavalli-Sforza, F. *Quem somos? História da diversidade humana*. São Paulo: Unesp, 2002. Diamond, J. Race without color. *Discover*, v. 15, n. 11, p. 82-89, nov. 1994. Disponível em: <http://discovermagazine.com/1994/nov/racewithoutcolor444>. Acesso em: 12 maio 2016. Gould, S. J. The geometer of race. *Discover*, v. 15, n. 11, p. 64-66, nov. 1994. Jablonski, N. G.; Chaplin, G. Todas as cores da pele. *Scientific American Brasil*. Duetto, p. 64-71, nov. 2002. Lewontin, R. C. *Human diversity*. San Francisco: *Scientific American*, 1982. Pena, S. D. J. *Humanidade sem raças?* São Paulo: Publifolha, 2008. Schuster, S. C. et al. Genomes from Southern Africa. *Nature*, fev., v. 18, n. 463, p. 943-947, 2010.)

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Um estudante afirmou que, para determinar a frequência de um alelo recessivo, em determinado momento, em uma população que não está necessariamente em equilíbrio gênico, basta contar a frequência de indivíduos com a característica recessiva. Você concorda com essa afirmação? Por quê?

2. A frequência de um alelo para um dado caráter dominante em uma população em equilíbrio é 0,20. Calcule a frequência de heterozigotos.

3. Em um experimento, uma população da espécie de drosófilas, *Drosophila pseudoobscura*, foi dividida em dois grupos: um foi criado em um meio de cultura à base de amido e o outro, em um meio à base de maltose. Depois de muitas gerações, os descendentes de ambas as culturas foram colocados juntos em um recipiente. Observou-se que as fêmeas provenientes de culturas à base de amido preferiam copular com machos provenientes também de culturas à base de amido. O mesmo acontecia com as fêmeas vindas de meios de cultura à base de maltose. Explique, em termos evolutivos, o que provavelmente aconteceu.

4. A doença de Huntington acomete, em geral, pessoas por volta dos 50 anos e é provocada por um alelo dominante. Cite dois motivos pelos quais o alelo para essa doença não é eliminado completamente pela seleção natural.

5. Pesquisadores acreditam que a formação do rio Congo, na África, por volta de 1,5 milhão de anos atrás, tenha colaborado para o surgimento, há cerca de 800 mil anos, a partir de um ancestral comum, das duas espécies de chimpanzés: o bonobo, encontrado ao sul de uma das margens do rio; e o chimpanzé comum, encontrado ao norte da margem oposta. Sabendo que esses animais não são bons nadadores, explique como a formação do rio pode ter influenciado essa especiação.

6. Em algumas populações, a frequência da fibrose cística, doença que, às vezes, provoca a morte do indivíduo ainda jovem, é de 1 para 2 500 nascimentos. Sabendo que essa doença é recessiva e monogênica (está envolvido apenas um par de alelos), responda às questões a seguir.

a) Supondo que essas populações estivessem em equilíbrio gênico em relação a esses alelos, calcule a frequência de indivíduos heterozigotos portadores do gene para a doença.

b) Cite um motivo pelo qual, na realidade, provavelmente não haja equilíbrio em relação a esses alelos.

7. Um estudante afirmou que se a frequência de determinado alelo aumentou ao longo do tempo em uma população; isso só pode ter ocorrido porque esse alelo conferiu alguma vantagem adaptativa a seus portadores. Você concorda com essa afirmação? Justifique sua resposta.

8. Uma espécie de drosófila, a *Drosophila pseudoobscura*, acasala-se pela manhã; outra espécie, a *Drosophila persimilis*, acasala-se à tarde. Ambas são encontradas na mesma área geográfica. Que tipo de isolamento reprodutivo há entre as duas espécies? É um isolamento pré-zigótico ou pós-zigótico?

9. Em vários invertebrados aquáticos, como os ouriços-do-mar, a fecundação é externa: o macho lança espermatozoides na água e estes fecundam o óvulo das fêmeas da mesma espécie, embora não fecundem o óvulo das fêmeas de outras espécies. Que tipo de isolamento deve haver nessa situação?

10. (Fuvest-SP) Em uma população de 100 pessoas, 36 são afetadas por uma doença genética condicionada por um par de alelos de herança autossômica recessiva.

a) Expresse em frações decimais a frequência dos genes dominantes e recessivos.

b) Quantos indivíduos são homozigotos?

c) Suponha que nessa população os cruzamentos ocorram por acaso, deles resultando, em média, igual número de descendentes. Considere, também, que a característica em questão não altera o valor adaptativo dos indivíduos. Nessas condições, qual será a porcentagem esperada de indivíduos de fenótipo dominante na próxima geração?

Justifique suas respostas mostrando como chegou aos resultados numéricos.

11. (Fuvest-SP) Os fatos abaixo estão relacionados ao processo de formação de duas espécies a partir de um ancestral:

I. Acúmulo de diferenças genéticas entre as populações.

II. Estabelecimento de isolamento reprodutivo.

III. Aparecimento de barreira geográfica.

a) Qual é a sequência em que os fatos acima acontecem na formação das duas espécies?

b) Que mecanismos são responsáveis pelas diferenças genéticas entre as populações?

c) Qual é a importância do isolamento reprodutivo no processo de especiação?

12. (UFG-GO) Alguns biólogos estudaram as populações de anfíbios. A população **A** cruza com **B** em condições naturais, mas **A** e **B** não cruzam com **C**. Quantas espécies estão envolvidas nesse estudo? Justifique sua resposta.

13. (Enem) A biodiversidade é garantida por interações das várias formas de vida e pela estrutura heterogênea dos *habitat*.
Diante da perda acelerada de biodiversidade, tem sido discutida a possibilidade de se preservarem espécies por meio da construção de "bancos genéticos" de sementes, óvulos e espermatozoides.
Apesar de os "bancos" preservarem espécimes (indivíduos), sua construção é considerada questionável do ponto de vista ecológico-evolutivo, pois se argumenta que esse tipo de estratégia:

I. não preservaria a variabilidade genética das populações;
II. dependeria de técnicas de preservação de embriões, ainda desconhecidas;
III. não reproduziria a heterogeneidade dos ecossistemas.

Está correto o que se afirma em:

a) I, apenas.
b) II, apenas.
x c) I e III, apenas.
d) II e III, apenas.
e) I, II e III.

14. (Cesgranrio-RJ) Em uma determinada população a capacidade de enrolar a língua é determinada por um gene dominante **A**. Nessa mesma população foi observado que 64% das pessoas apresentam essa característica. A frequência esperada de indivíduos heterozigotos será de:

a) 10%.
b) 16%.
c) 36%.
x d) 48%.
e) 70%.

15. (UEL-PR) Na espécie humana, há certas proteínas no sangue que permitem classificar as pessoas como pertencentes ao tipo sanguíneo M, N ou MN. Essa característica é determinada por um par de alelos entre os quais não há dominância. Se em uma população em equilíbrio de Hardy-Weinberg a frequência de indivíduos do grupo M é 49%, as frequências esperadas de indivíduos dos grupos N e MN são, respectivamente:

x a) 9% e 42%.
b) 17% e 34%.
c) 18% e 21%.
d) 21% e 18%.
e) 34% e 17%.

16. (Uece) O isolamento reprodutivo, isto é, a incapacidade de produção de descendência fértil em condições naturais, é o melhor critério para distinguir entre si os seguintes táxons:

a) Variedades de plantas da mesma espécie (espécimes de variedades diferentes de milho – *Zea mays*).
b) Raças diferentes de cães (dálmata de pastor-alemão).
c) Populações humanas (população que vive em Tóquio da população que vive em Fortaleza).
x d) Espécies filogeneticamente próximas (*Canis familiaris* e *Canis lupus*).

17. (Cefet-MG)
Nas últimas décadas tem sido empregado o uso do material genético na reconstrução de filogenias para representar as relações de parentesco evolutivo entre as espécies a partir de um ancestral comum. Mas, para explicar a origem da biodiversidade, é necessário incluir as transformações ecológicas e geográficas. No caso da Amazônia, o local de maior biodiversidade do planeta, dados obtidos com cipós, aves, primatas e borboletas indicam que a diversificação de espécies na Amazônia ocorreu na mesma época que a formação da bacia hídrica.

STAM, G. A. *Entre cipós e algas*. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br>. Acesso em: 6 abr. 2015. (Adaptado).

A consequência do surgimento dessa bacia, nesse processo de diversificação, foi a

a) dispersão de sementes e gametas, colonizando novas áreas geográficas.
b) disponibilização de água, favorecendo o crescimento numérico das populações.
x c) interrupção do fluxo gênico pela presença de barreira hídrica, acarretando especiação.
d) indução de mutações, alterando o material genético das espécies e originando a diversidade.
e) promoção do deslocamento de nichos, levando ao surgimento de espécies arborícolas e aéreas.

Trabalho em equipe

Com auxílio dos professores de Filosofia e Sociologia, discutam as origens históricas e os fatores sociais ligados ao racismo. Critiquem essa atitude e reflitam sobre medidas para combatê-la. Debatam também a ideia de que existam raças na espécie humana.

CAPÍTULO 11

Evolução: métodos de estudo

SPL/Latinstock

Fóssil de *Ceratites ammonite* (as conchas podem ter de 1 cm até 1 m de diâmetro). Animais como este viveram durante o período Triássico.

Para estudar a história evolutiva dos seres vivos, os cientistas fazem uma série de análises anatômicas, embriológicas, fisiológicas e moleculares entre os organismos atuais. Além disso, eles estudam os fósseis que se formaram há milhões de anos a partir de seres vivos. Os amonites, por exemplo, foram moluscos marinhos com a concha formada por câmaras adicionadas conforme o animal crescia. O registro dos amonites apareceu pela primeira vez em rochas de 400 milhões de anos e estima-se que sua extinção ocorreu há 65 milhões de anos.

- *Você sabe como um fóssil se forma?*
- *Qual a importância desse material para o estudo da vida na Terra?*
- *O que o DNA pode nos informar sobre a evolução das espécies?*

1 Fósseis

Chamamos de **fóssil** (do latim *fossile* = extraído da terra) os restos de seres vivos de épocas passadas ou ainda qualquer vestígio deixado por eles: pegadas, túneis (feitos por vermes marinhos), etc.

Um fóssil só se forma em condições muito especiais, pois, normalmente, o organismo morto é comido por animais ou decomposto por fungos e bactérias. Os tecidos moles têm mais chance de serem comidos e decompõem-se mais rapidamente que as partes duras (ossos, conchas, etc.); estas, portanto, apresentam mais chance de formarem fósseis.

De qualquer modo, só haverá fossilização se a morte do organismo ocorrer em condições que favoreçam esse fenômeno.

Os fósseis podem se formar com mais facilidade quando um animal é soterrado por sedimentos (areia ou argila) no fundo de lagos e mares ou no leito de rios. Com o tempo, os sedimentos se compactam e formam rochas (figura 11.1).

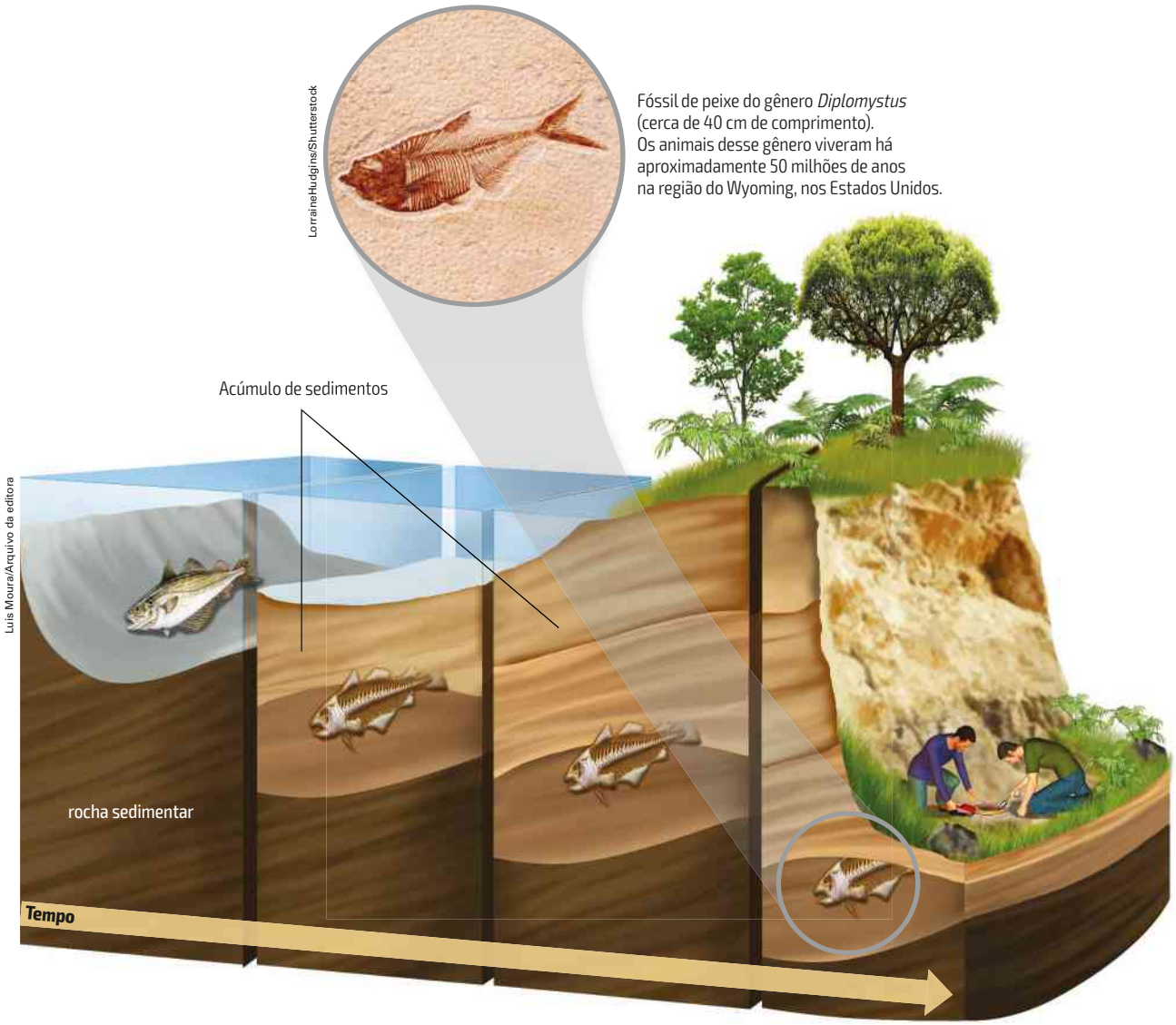


Figura 11.1 Esquema do processo de formação de fósseis (figura sem escala; cores fantasia).

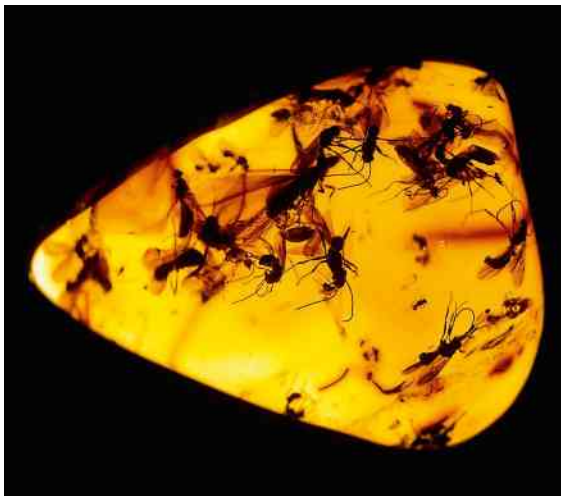
Às vezes, as partes do corpo são substituídas por minerais e sua forma original é preservada (figura 11.2). Em outras, o organismo é completamente destruído, mas sua marca ou seu molde fica esculpido na rocha.

São raros os casos em que um organismo fica intacto, como aconteceu com os mamutes (ancestrais do elefante) – que tiveram a carne e a pele preservadas – soterrados nas geleiras da Sibéria ou com insetos presos na resina de pinheiros. Em resina fossilizada, chamada âmbar, podemos encontrar insetos que viveram há milhões de anos (figura 11.2).

Como se vê, a probabilidade de se formarem fósseis é muito baixa. Além disso, depois de formados, muitos deles podem ser naturalmente destruídos por agentes erosivos. Tudo isso faz com que o registro fóssil da evolução dos seres vivos seja incompleto.

Bernardo Gonzalez Riga/EPA/Corbis/Latinstock

Cientistas trabalhando em um fóssil de titanossauro, dinossauro com cerca de 10 m de comprimento.



Alfred Pasieka/SPL/Latinstock

Insetos (cerca de 40 milhões de anos) conservados em âmbar (aumento de cerca de 1,5 vez).

Figura 11.2 Fotos de fósseis de diferentes animais.

A importância dos fósseis para o estudo da evolução

A Paleontologia (do grego *palaios* = antigo; *ontos* = ser; *logos* = estudo; estudo dos fósseis) fornece importantes dados sobre a história evolutiva de uma espécie, isto é, sobre sua **filogenia** ou **filogênese** (do grego *phylon* = grupo; *genos* = origem). Além disso, contribui com valiosas informações sobre espécies extintas. Para isso usa métodos e dados de várias outras ciências, como a Geografia, a Geologia, a Química e a Biologia, etc.

Estudando fósseis de ossos das pernas de um animal, por exemplo, podemos ter ideia de sua altura e de seu peso. Já os dentes podem indicar o tipo de alimentação, pois cada animal possui adaptações ao ambiente em que vive e a determinado modo de vida: carnívoros, por exemplo, têm dentes geralmente pontiagudos e afiados, o que lhes permite prender, perfurar e comer carne.

De particular interesse são os fósseis com características intermediárias entre dois grupos, como veremos no próximo capítulo. A forma intermediária, conhecida como **fóssil de transição**, indica o grau de parentesco entre dois grupos. Nesse grupo estão fósseis de dinossauros com penas e de aves com dentes, entre outras características, mostrando o parentesco evolutivo entre os dois grupos.

Esse também é o caso dos inúmeros fósseis intermediários entre baleias e mamíferos terrestres, que mostram uma progressiva adaptação ao ambiente aquático. Uma das principais características são as aberturas nasais, que ao longo de muitas gerações migraram para o topo da cabeça e possibilitaram que as baleias, por exemplo, respirassem sem precisar emergir totalmente. Além disso, o corpo delas adquiriu um formato hidrodinâmico; os membros anteriores modificaram-se em nadadeiras; os membros posteriores diminuíram até desaparecer (figura 11.3), o que tornou mais eficiente o deslocamento no meio líquido.

Photo Researchers/Latinstock

Figura 11.3 Esqueleto fóssil de animal do gênero *Dorudon* (41 a 33 milhões de anos atrás; cerca de 5 m de comprimento). Na parte de baixo da foto, à direita, aparecem ossos em tamanho reduzido, semelhantes aos ossos dos membros posteriores dos mamíferos terrestres. Esses ossos também estão presentes em algumas baleias atuais.

Os dados obtidos pelo estudo dos fósseis são confrontados com outras evidências, como as obtidas pelo estudo comparado da anatomia e da embriologia dos organismos atuais e de suas proteínas e ácidos nucleicos. Esses estudos indicam que os peixes devem ter surgido antes dos anfíbios; estes, antes dos répteis, que surgiram antes das aves e dos mamíferos. Essa sequência é confirmada pela idade relativa dos fósseis de cada grupo.

De acordo com a teoria da evolução, espera-se que os fósseis mais semelhantes às espécies atuais sejam encontrados nas camadas mais superficiais (recentes) do terreno examinado (veja o boxe *Biologia e Química*, "Determinação da idade de um fóssil"). Espera-se também encontrar fósseis de organismos de transição entre grupos com um ancestral comum mais recente, como aves e dinossauros, peixes e anfíbios, etc.

Biologia e Química

Determinação da idade de um fóssil

A idade de um fóssil corresponde, aproximadamente, à do terreno em que ele se encontra. Em geral, quanto mais profundo o terreno, mais antigo o fóssil. A idade absoluta das rochas e a dos fósseis são calculadas por meio da desintegração de elementos radioativos (um fenômeno estudado na Física e na Química), que funcionam como "relógios" naturais.

Quando se desintegra, o urânio (^{238}U) transforma-se em um isótopo do chumbo (^{206}Pb): 1 g de urânio demora cerca de 4,5 bilhões de anos para produzir 0,5 g de chumbo. Portanto, pela quantidade relativa de urânio e chumbo presentes em uma rocha (feita com análises químicas), podemos saber sua idade. A taxa de desintegração não varia com mudanças de pressão, temperatura ou reações químicas.

Com esse método, os cientistas determinaram a idade da Terra. Análises de meteoritos, rochas da Lua e rochas antigas do planeta comprovaram que ele tem 4,5 bilhões de anos.

Outro isótopo do urânio, ^{235}U, tem meia-vida de 704 milhões de anos, ou seja, nesse intervalo de tempo metade dos átomos transforma-se em um isótopo do chumbo, ^{207}Pb.

Em rochas recentes, porém, a quantidade relativa de urânio e de chumbo é muito pequena e difícil de ser analisada. Nesse caso, é usado o método do carbono-14 (^{14}C) (**figura 11.4**), isótopo radioativo do carbono normal (^{12}C), que se forma quando nêutrons de raios cósmicos colidem com átomos de nitrogênio atmosférico. Veja a equação que representa essa reação:

$$^{14}_{7}N + 1 \text{ nêutron} \rightarrow ^{14}_{6}C + 1 \text{ próton}$$

O ^{14}C pode combinar-se com o oxigênio do ar e formar gás carbônico, que se incorpora aos vegetais na fotossíntese e, indiretamente, aos animais pela cadeia alimentar. Todos os seres vivos possuem uma pequena taxa de isótopos radioativos do carbono (um em cada trilhão de átomos de carbono). Quando morre, o organismo para de absorver esse isótopo, que se desintegra do cadáver lentamente e forma nitrogênio.

A cada 5 730 anos, a taxa de carbono radioativo cai pela metade. Assim, a medida da radioatividade causada pelo carbono radioativo fornece a idade aproximada do organismo.

Javison/SPL/Latinstock

Figura 11.4 Equipamento que realiza a datação com carbono-14. Universidade de Oxford, Reino Unido. Foto de 2012.

2 Embriologia e anatomia comparadas

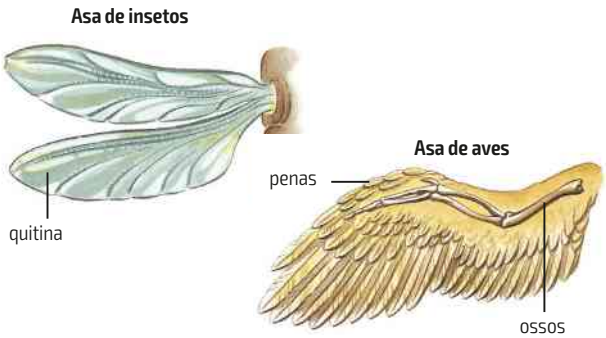
Muitas vezes, comparando o desenvolvimento embrionário e a anatomia de diversos organismos é possível determinar o grau de parentesco entre eles. Estudando os detalhes da anatomia do braço do ser humano, da nadadeira da baleia e da asa do morcego, vemos que, apesar de terem funções diferentes, esses órgãos apresentam o mesmo "padrão de construção": a formação e o arranjo dos ossos são muito semelhantes. Essas semelhanças podem ser explicadas pelo fato de que esses órgãos evoluíram a partir de um mesmo órgão presente no ancestral comum desses grupos que se adaptou a funções diferentes.

Estruturas como essas, originadas de um ancestral comum exclusivo, que podem ou não desempenhar a mesma função, são **estruturas homólogas** (figura 11.5). A diferença de funções entre tais estruturas, quando presente, deve-se a uma **divergência evolutiva**, ou seja, a seleção de características mais adaptadas a cada ambiente.

O conceito de homologia pode ser aplicado não apenas a órgãos, mas a outras características: anatômicas, embriológicas, comportamentais e moleculares (como a sequência de aminoácidos de uma proteína ou a sequência de nucleotídeos no DNA ou RNA). É com base em todo um conjunto de semelhanças (homologias) entre dois ou mais grupos, que podemos supor uma ancestralidade comum.

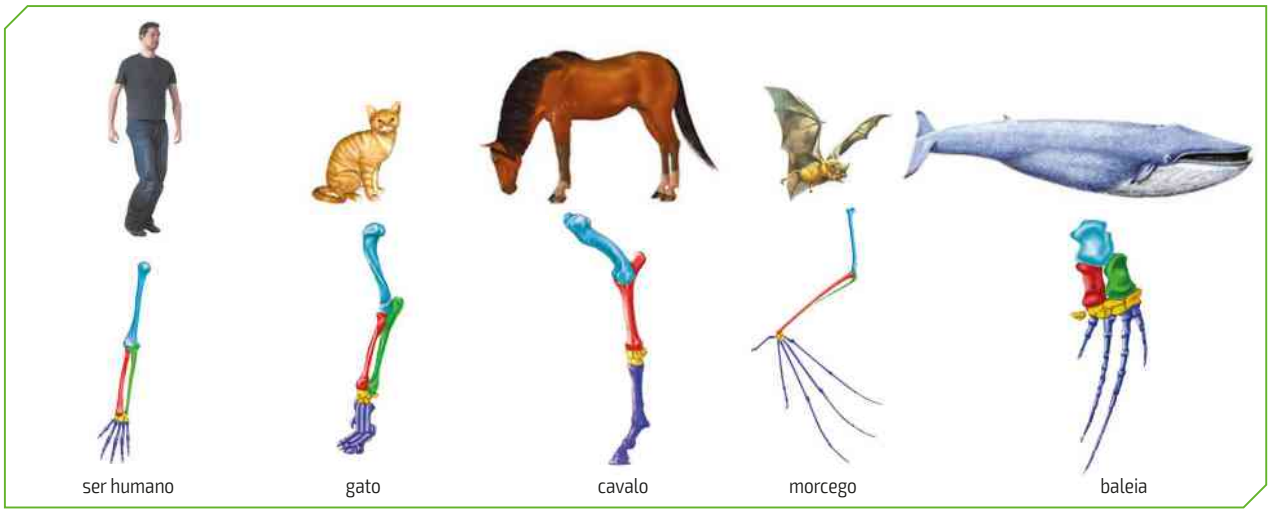
No caso dos mamíferos, um ancestral exclusivo desse grupo deu origem a um grande número de espécies adaptadas a condições de vida muito diferentes. Chamamos esse fenômeno **irradiação adaptativa**. Como resultado dessa evolução, os ossos dos membros anteriores dos mamíferos sofreram modificações e hoje desempenham diferentes funções: correr (cavalo); manipular objetos (ser humano); nadar (baleia); cavar (tatu); voar (morcego); etc.

A embriologia e a anatomia comparadas mostram também que as asas dos insetos e as das aves têm origem embrionária e estrutura anatômica diferentes, embora desempenhem a mesma função. Essas são as chamadas **estruturas análogas**. As asas das aves não se originaram de um ancestral comum entre aves e insetos. Nesse caso, esses dois grupos adaptaram-se de forma semelhante ao mesmo tipo de ambiente (figura 11.6). Esse fenômeno é chamado **convergência evolutiva** (ou **adaptativa**) ou **evolução convergente**.



Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

Figura 11.6 Órgãos análogos: asas dos insetos e das aves. A função é a mesma, mas esses órgãos não têm a mesma origem embrionária, isto é, eles não se originam de uma mesma estrutura ancestral. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)



Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 11.5 Homologia nos ossos do membro dianteiro dos mamíferos. Mudanças no número e no comprimento dos dedos ou em outras características funcionam como adaptações a diversas funções. Observe a perda e a fusão de ossos no cavalo, e o alongamento dos dedos do morcego formando a estrutura da asa. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Órgãos vestigiais

Outra evidência da evolução são os **órgãos vestigiais**, órgãos atrofiados, que não desempenham mais sua função original. São exemplos o apêndice vermiforme humano e os ossos vestigiais de membros posteriores em algumas baleias e serpentes (figura 11.7).

O apêndice vermiforme humano corresponde a uma projeção do intestino que é bem desenvolvida em animais herbívoros não ruminantes (coelho, cavalo, etc.). Nesses animais, o apêndice vermiforme abriga microrganismos importantes para a digestão da celulose. Na espécie humana, essa função original do órgão foi perdida, o que o caracteriza como órgão vestigial. No entanto, um estudo recente sugere que ele pode colaborar em outras funções, como na imunidade ou no reservatório de bactérias.

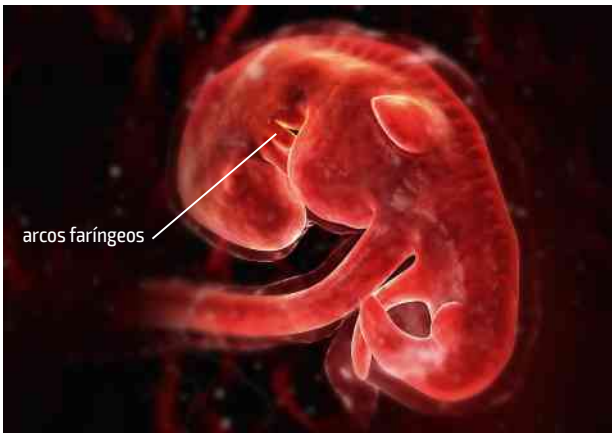
A presença de ossos vestigiais de membros posteriores em baleias e serpentes indica que esses animais descendem de espécies com pernas que se adaptaram a um novo modo de vida. Nas baleias, a perda dos membros posteriores diminuiu o atrito com a água, tornando mais eficiente o deslocamento do animal no ambiente aquático. Nas serpentes, essa perda pode ter facilitado o deslizamento delas por fendas estreitas entre pedras e sua entrada em buracos no solo.

Outro exemplo é o cóccix humano. Localizado na parte inferior da coluna vertebral e formado pela união de quatro ou cinco vértebras, é um órgão vestigial remanescente de cauda. Há pessoas que, inclusive, possuem um pequeno músculo ligado ao cóccix, idêntico ao que movimenta a cauda em outros mamíferos, mas, nesse caso, sem função, já que o cóccix não se movimenta.

Semelhanças embrionárias

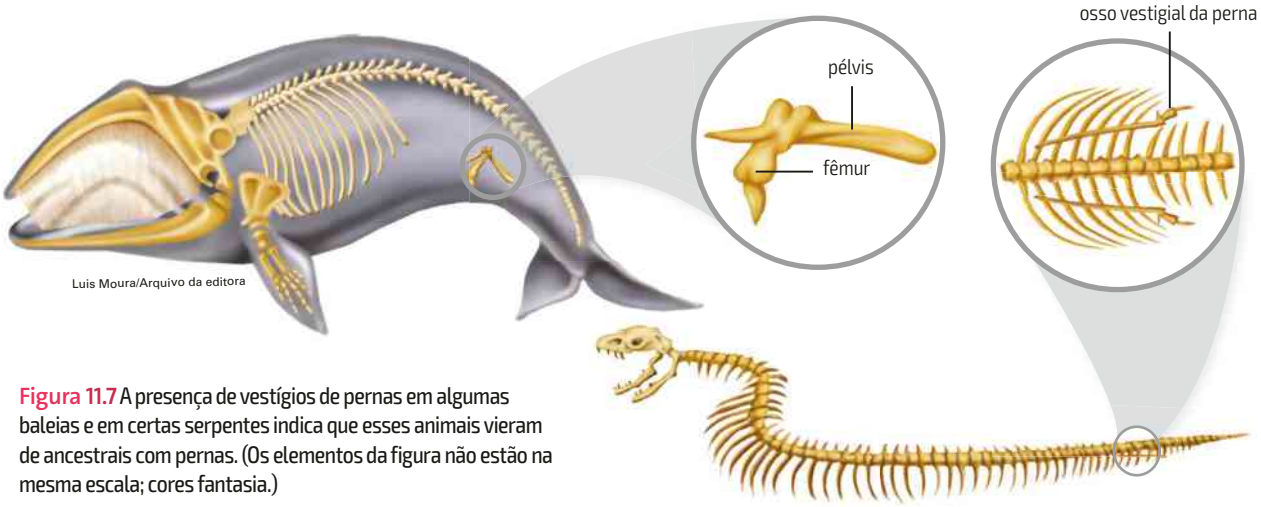
A embriologia comparada também fornece boas informações a respeito do parentesco entre grupos cujos representantes parecem muito diferentes uns dos outros quando comparados depois de já completamente formados.

A semelhança entre embriões pode ser observada, por exemplo, entre os diferentes grupos de vertebrados. A explicação está no fato de que, a partir de uma organização básica do embrião, comum a todos os grupos, diferentes órgãos se desenvolvem, conforme o grupo a que o embrião pertence. Assim, todos os embriões de vertebrados possuem bolsas, sulcos e arcos faríngeos (figura 11.8), mas, nos peixes, essas estruturas farão parte das brânquias, e, em humanos, elas formarão diversas partes da cabeça e do pescoço (tonsilas palatinas, glândulas paratireoideas, timo, ossículos da orelha média, meato acústico externo, etc.).



3D4medical.com/Getty Images

Figura 11.8 Ilustração (cores fantasia) de embrião humano com 4 semanas (cerca de 7 mm de comprimento). Os arcos faríngeos, à direita da cabeça, estão presentes nos estágios iniciais dos embriões de todos os vertebrados.



Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 11.7 A presença de vestígios de pernas em algumas baleias e em certas serpentes indica que esses animais vieram de ancestrais com pernas. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

3 Estudos moleculares

Em termos bioquímicos, quanto maior a diferença na sequência de ácidos nucleicos e nas proteínas de duas espécies, maior a distância evolutiva entre elas. Assim, as semelhanças na sequência dos aminoácidos de uma proteína ou de nucleotídeos do DNA podem indicar o grau de parentesco entre duas espécies.

Um exemplo do uso desse método é a comparação entre a hemoglobina humana e a de outros mamíferos. A humana é igual à do chimpanzé (mesma sequência de aminoácidos) e difere da de animais cada vez mais afastados evolutivamente.

Isso significa que seres humanos e chimpanzés são mais próximos evolutivamente entre si do que com outros animais. Em outras palavras, chimpanzés e humanos compartilham um ancestral comum mais recente do que com outros animais.

As técnicas atuais de análise de ácidos nucleicos permitiram sequenciar o genoma de várias espécies, mostrando, por exemplo, que o genoma humano apresenta maior grau de semelhança com o genoma do chimpanzé do que com o de outros animais.

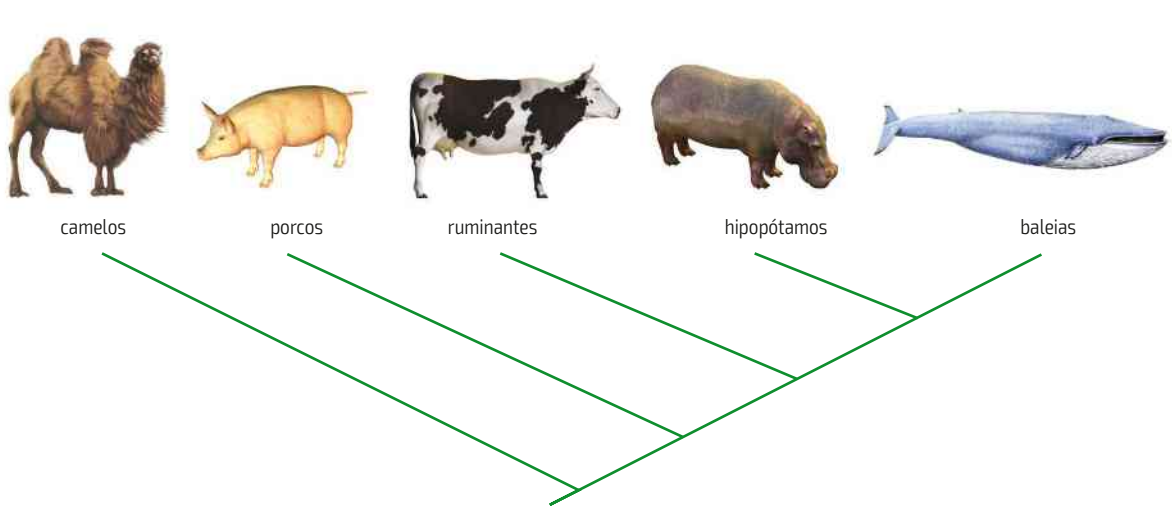
A análise do DNA dos cromossomos 2A e 2B do chimpanzé mostrou a semelhança de várias das partes desses cromossomos com o cromossomo humano 2, indicando que este pode ter surgido da fusão entre dois cromossomos do ancestral comum de chimpanzés e humanos. Isso explicaria porque os humanos têm um par de cromossomos a menos (23 pares) em relação aos chimpanzés (24 pares).

O sequenciamento de genoma permite construir árvores filogenéticas dos grupos de organismos, que podem ser comparadas com as árvores construídas com dados morfológicos. Permite também descobrir a origem de novas doenças causadas por vírus. O sequenciamento do RNA do vírus da Aids, por exemplo, ajudou a decifrar sua origem (o HIV-1 veio de um tipo de vírus que infecta chimpanzés e o HIV-2, de outro tipo de vírus que vitima os macacos-verdes) e a época aproximada em que o vírus passou de uma espécie para outra.

Com as novas técnicas para determinar a sequência de bases do DNA pode-se estudar também a evolução de determinada sequência de DNA em diferentes espécies, comparando as mudanças em sua sequência de bases. Utilizando essa abordagem foi possível demonstrar que os mamíferos terrestres mais próximos das baleias são os hipopótamos. A análise confirmou as evidências morfológicas de que a articulação entre a perna e a pata de um ancestral da baleia (o gênero *Basilosaurus*) é semelhante à dos artiodáctilos, grupo em que está o hipopótamo (**figura 11.9**).

Como acabamos de ver, a teoria da evolução permite explicar grande número de fenômenos que, aparentemente, não teriam relação entre si: os fósseis, as adaptações, as semelhanças anatômicas, fisiológicas e moleculares entre os seres vivos, os órgãos vestigiais, entre muitos outros.

Fica claro, portanto, o título de um famoso artigo do renomado geneticista Theodosius Dobzhansky, um dos pais da teoria sintética da evolução: "Nada em Biologia faz sentido a não ser à luz da evolução" (Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*. n. 35, p. 125-129, mar. 1973).



Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 11.9 Árvore filogenética indicando que o hipopótamo é o parente evolutivo mais próximo da baleia (ilustração sem escala; cores fantasia).

Atividades

1. Como se explica, do ponto de vista da evolução, a semelhança na disposição dos ossos do membro anterior de animais tão diferentes como baleias (que nadam), morcegos (que voam), cavalos e gatos (que andam, saltam e correm em ambiente terrestre)?

2. O evolucionista Ernst Mayr (1904-2005) afirmou que "a teoria da evolução é, muito justamente, considerada a maior teoria unificadora em Biologia". Explique o que ele quis dizer com isso e dê argumentos a favor dessa afirmação.

3. Costuma-se afirmar que a história evolutiva das espécies pode ser contada pelos fósseis, mas pode-se dizer que essa história está escrita também no DNA das espécies. Em seu caderno, explique essa afirmação.

4. Explique por que o registro fóssil da evolução de um grupo é necessariamente incompleto.

5. Apesar do tamanho, o pescoço da girafa tem o mesmo número de vértebras (sete) que o do rato, do ser humano e de quase todos os mamíferos. O que isso indica?

6. (Fuvest-SP) O que são órgãos homólogos e órgãos análogos? Dê um exemplo de analogia que ocorra entre mamíferos e insetos.

7. (PUC-SP) A análise bioquímica comparativa de uma mesma proteína encontrada entre as espécies cavalo, chimpanzé e homem revelou que a molécula é constituída de 100 aminoácidos, dispostos da mesma maneira ou ordem no homem e no chimpanzé, enquanto no cavalo diferem em 10 dos 100 aminoácidos encontrados. Considerando que o DNA determina a síntese de proteínas na célula através do RNA-mensageiro, como você explica a:

a) semelhança entre essa proteína no homem e chimpanzé?

b) diferença entre essa proteína do cavalo, quando comparada com a do homem e a do chimpanzé?

8. (Ufes) Com relação à evolução, observe as afirmativas abaixo.

I. Fósseis são restos ou impressões deixadas por seres que habitaram a Terra no passado e constituem provas de que nosso planeta foi habitado por seres diferentes dos que existem atualmente.

II. A explicação mais lógica para as semelhanças estruturais entre seres vivos com aspectos e modos de vida diferentes é que eles descendem de um mesmo ancestral.

III. A semelhança entre as proteínas de diferentes seres vivos pode ser explicada admitindo que esses seres tenham tido um ancestral comum.

IV. A teoria que admite que as espécies não se alteram no decorrer do tempo denomina-se fixismo.

Assinale:

a) se apenas I, II e III estiverem corretas.

b) se apenas II, III e IV estiverem corretas.

c) se apenas I, III e IV estiverem corretas.

X d) se todas estiverem corretas.

e) se todas estiverem incorretas.

9. (Furg-RS) O tuco-tuco, gênero *Ctenomys*, é um roedor subterrâneo endêmico da região neotropical. No Rio Grande do Sul há quatro espécies de *Ctenomys* que habitam os campos arenosos internos e dunas e campos arenosos da planície costeira. Eles apresentam modificações nos membros locomotores, boca e forma do corpo, relacionadas ao seu modo de vida. Na América do Norte, os similares ecológicos dos tuco-tucos são os roedores subterrâneos dos gêneros *Thomomys* e *Geomys*, com os quais não têm relações de parentesco, mas compartilham as mesmas modificações. As similaridades morfológicas existentes entre esses organismos, relacionadas ao modo de vida subterrânea, são um exemplo de:

a) seleção artificial.

b) radiação adaptativa.

c) homologia e analogia.

X d) convergência adaptativa.

e) uso e desuso.

10. (UFRGS-RS) Quando são realizadas comparações entre espécies, constata-se que muitas características são compartilhadas. Considere as afirmações abaixo, sobre os processos evolutivos relacionados a esse fato.

I. Características homólogas são aquelas compartilhadas por diferentes espécies, herdadas de um ancestral comum.

II. As estruturas ósseas das asas de morcegos e aves são derivadas de um ancestral comum de quatro membros.

III. A evolução convergente refere-se a características similares que evoluíram, de forma independente, em diferentes espécies sujeitas a pressões seletivas semelhantes.

Quais estão corretas?

a) Apenas II.

b) Apenas III.

c) Apenas I e II.

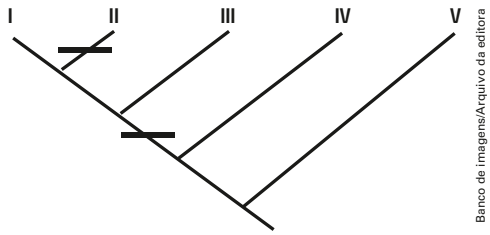
d) Apenas I e III.

X e) I, II e III.

11. (UFJF-MG) Considerando-se estruturas análogas e homólogas, observadas em um estudo comparado dos seres vivos, é correto afirmar que:

a) a semelhança funcional entre as estruturas análogas indica a existência de um ancestral comum.
b) as estruturas homólogas desempenham a mesma função e não indicam a existência de um ancestral comum.
c) as estruturas homólogas não têm a mesma origem embrionária e não apresentam divergência evolutiva.
X d) as estruturas análogas são resultantes da convergência evolutiva e não refletem parentesco evolutivo.
e) as estruturas análogas e homólogas indicam parentesco evolutivo, sendo decorrentes de uma mesma carga genética.

12. (Fuvest-SP) Um determinado tipo de proteína, presente em praticamente todos os animais, ocorre em três formas diferentes: a forma P, a forma PX, resultante de mutação no gene que codifica P, e a forma PY, resultante de mutação no gene que codifica PX. A ocorrência dessas mutações pôde ser localizada nos pontos indicados pelos retângulos escuros na árvore filogenética, com base na forma da proteína presente nos grupos de animais I, II, III, IV e V.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Indique a alternativa que mostra as proteínas encontradas nos grupos de animais I a V.

	Proteína P	Proteína PX	Proteína PY
a)	I, IV e V	III	II
X b)	IV e V	I e III	II
c)	IV e V	II	I e III
d)	I e II	III	IV e V
e)	I e III	II	IV e V

13. (IFSP) Fósseis são restos ou vestígios de animais ou plantas que viveram em tempos passados e que, por condições ambientais adequadas, ficaram preservados.

Em relação ao processo de fossilização, considere as etapas a seguir:

I. As partes moles do corpo são totalmente decompostas.
II. O corpo do animal morto é atacado por organismos decompositores e detritívoros.
III. Um animal morto à margem de uma lagoa afunda rapidamente e fica totalmente coberto pela água.
IV. Ocorre a mineralização das partes duras do corpo do animal.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta das etapas de fossilização em uma lagoa.

a) I, II, III, IV
b) I, IV, II, III
c) II, III, IV, I
d) III, IV, I, II
X e) III, II, I, IV

14. (UEPG-PR) Há um número muito grande de fatos que comprovam que a evolução realmente ocorreu e continua ocorrendo. Sobre tal assunto, identifique e some o que for correto. 01 + 02 + 04 + 08 + 16 = 31

(01) Semelhança quase sempre sugere parentesco. Foi observando essa constante que o estudo intensivo da anatomia comparada acabou por reforçar a ideia da evolução.
(02) Órgãos que possuem a mesma origem evolutiva, embora suas funções sejam diferentes, são denominados homólogos. É o caso do esqueleto dos membros anteriores dos vertebrados.
(04) A embriologia comparada evidencia a evolução quando se estudam embriões e percebe-se que quanto mais precoce a fase embrionária observada, mais parecidos são os embriões de grupos diferentes dentro de uma mesma classificação.
(08) Nas últimas décadas foram desenvolvidas algumas técnicas bioquímicas que permitem o estudo da evolução. Todos os métodos baseiam-se na ideia de que espécies muito próximas evolutivamente, que descendem de um ancestral comum, têm maior semelhança na sua composição química do que espécies mais distantes.
(16) Quanto maior a semelhança entre DNAs de espécies cujo parentesco evolutivo se quer determinar, mais relacionadas estarão as espécies. Um dos métodos mais simples de fazer essa comparação consiste em "hibridizar", em tubos de ensaio, as fitas isoladas de seus DNAs. Determina-se em que medida houve pareamento entre os DNAs diferentes. Quanto maior a taxa de pareamento, maior a semelhança entre as sequências do DNA e mais próximas, portanto, estarão as espécies em termos evolutivos.

15. (Uepa) Mesmo com o avanço da tecnologia em comunicação, o ser humano continua se debruçando sobre os registros fósseis para desvendar o mistério da criação do mundo e da notável biodiversidade, com milhões de espécies de seres vivendo nos mais variados ambientes que compõem a biosfera. A teoria da evolução biológica busca explicar o mecanismo que propiciou essa imensa variedade de seres vivos. Os principais argumentos científicos que explicam esse mecanismo são:

I. Órgãos vestigiais indicam a presença de um ancestral comum entre as espécies nas quais ocorrem.

II. A análise dos fósseis indica que a extinção de espécies faz parte do processo evolutivo.

III. Os fósseis permitem o estudo comparativo entre organismos ou estruturas de diferentes eras geológicas que demonstram mudanças ao longo do tempo.

IV. Desde Darwin, vários aspectos de sua teoria já foram revistos, o que demonstra sua falta de fundamentação.

V. Os órgãos homólogos indicam relações de parentesco entre espécies, por terem a mesma origem embrionária.

A alternativa que contém todas as afirmativas corretas é:

X a) I, II, III e V.
b) I, III, IV e V.
c) II, III, IV e V.
d) II, III e IV.
e) I, II, III, IV e V.

16. (UPF-RS) A teoria da evolução biológica é considerada a base da Biologia moderna e existem várias evidências para corroborá-la. Em relação a esse assunto, analise as afirmativas a seguir:

I. As evidências da evolução biológica estão baseadas principalmente no estudo comparado dos organismos, tanto fósseis quanto atuais.

II. A presença de estruturas análogas em diferentes organismos, como, por exemplo, as asas das aves e dos insetos, é evidência de que ambos os tipos de organismos evoluíram a partir de um ancestral comum.

III. A presença de órgãos vestigiais em alguns organismos, como, por exemplo, o apêndice cecal (vermiforme) em humanos – considerando que em outros organismos esses mesmos órgãos são funcionais –, é uma evidência evolutiva.

IV. Há grande semelhança no padrão de desenvolvimento embrionário inicial em diversos vertebrados. Quanto mais próximos evolutivamente são os organismos, maior é a semelhança no desenvolvimento embrionário.

V. Espécies com maior proximidade evolutiva apresentam menor grau de similaridade nas sequências de bases nitrogenadas dos seus ácidos nucleicos.

Está correto apenas o que se afirma em:

a) I, II, IV e V.
X b) I, III e IV.
c) III, IV e V.
d) II, III, IV e V.
e) I, II e IV.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar (em livros, na internet, em CD-ROMs). Depois, exponham os resultados da pesquisa para a classe e para a comunidade escolar (alunos, professores, funcionários da escola e pais ou responsáveis).

1. Pesquisem as principais características de alguns fósseis de transição entre as baleias atuais e os mamíferos terrestres dos quais elas evoluíram, principalmente os seguintes gêneros: *Pakicetus*, *Ambulocetus*, *Rhodocetus*, *Dorudon*, *Basilosaurus*, destacando as adaptações à vida aquática que surgiram ao longo desse processo evolutivo.

2. Pesquisem em livros de Química e de Física a história da descoberta da radioatividade; o conceito de meia-vida; outras aplicações tecnológicas dos isótopos (além da determinação da idade de rochas e fósseis). Se possível, peçam auxílio aos professores de Física e de Química.

CAPÍTULO 12

A evolução humana

Mauricio Anton/SPL/Latinstock

Representação artística de *Australopithecus afarensis* (um indivíduo adulto desta espécie apresentava cerca de 1,10 m de altura).

Análises de sequências de DNA mostram que os chimpanzés são nossos parentes evolutivos mais próximos. Apesar das semelhanças, o ser humano não descende de espécies de macacos atuais, mas ele e os outros antropoides de hoje descendem de um mesmo ancestral. A linhagem que originou o ser humano e a que originou o chimpanzé podem ter se separado entre 7 milhões e 5 milhões de anos atrás. A partir daí, ambos evoluíram separadamente e acumularam diversas modificações.

- *Quais características diferenciam os seres humanos dos demais primatas, como os chimpanzés?*
- *Muitos filmes e outros meios de entretenimento mostram seres humanos convivendo com dinossauros. Você acredita que essa convivência existiu?*

No volume 1 desta coleção vimos que, com o objetivo de facilitar o estudo da evolução, costuma-se dividir a história em **éons**, **eras**, **períodos** e **épocas**. Cada um desses grandes intervalos de tempo é geralmente marcado por algum acontecimento importante. Lembre-se de que, comparando com a escala de tempo usada em História, a escala de tempo geológico leva em consideração intervalos de tempo imensamente maiores.

Neste capítulo vamos ter uma ideia geral da evolução humana, lembrando que trata-se de um tema em constante mudança devido a novas descobertas de fósseis.

Evolução da espécie humana

Acredita-se que os parentes evolutivos mais próximos da espécie humana sejam os chimpanzés, os gorilas e os orangotangos. Todos esses animais fazem parte da ordem dos primatas (Primates), apresentando algumas características comuns e exclusivas desse grupo.

Um dos aspectos mais importantes que diferencia o ser humano dos demais primatas é a capacidade humana de se apoiar e se locomover apenas sobre os membros posteriores. Embora consigam se locomover sobre os dois pés, gorilas, chimpanzés e outros símios são incapazes de caminhar apenas com os membros posteriores por períodos prolongados.

Essa capacidade caracteristicamente humana de caminhar sobre os dois pés possibilitou que as mãos ficassem livres para segurar e manipular objetos. Isso possibilita, por exemplo, que os seres humanos consigam recolher e transportar alimentos e crianças, pegar pedras e galhos que podem ser usados como armas, manusear instrumentos delicados de trabalho, etc.

Ainda não sabemos ao certo quais foram as causas que favoreceram a postura ereta do ser humano. Uma hipótese é que o grupo de primatas que originou a espécie humana teria abandonado a floresta e ido viver nos campos ou nas savanas da África.

A postura ereta pode ter facilitado a corrida nas savanas, além de ter deixado as mãos livres para a realização de diferentes atividades, como as mencionadas anteriormente. Pode ter favorecido também a observação de presas e predadores à distância por cima da grama alta. Alguns estudos mostram que a postura ereta proporciona ainda uma economia de energia no deslocamento (figura 12.1). Além disso, as articulações dos braços permitem lançar objetos com boa velocidade, e o polegar em oposição aos outros dedos facilita a preensão e a manipulação de objetos.

A inteligência pode ter se desenvolvido com a capacidade de manejar ferramentas e objetos, como uma adaptação à caça nas savanas africanas (o assunto ainda é muito discutido). Enquanto na espécie humana o volume médio do crânio é de 1350 cm^3, no chimpanzé atinge no máximo 500 cm^3 e no gorila, apesar de todo o tamanho desse animal, no máximo 750 cm^3 (figura 12.1). Além disso, na espécie humana, as circunvoluções do córtex cerebral estão mais desenvolvidas, o que aumenta consideravelmente a área dessa parte do cérebro, envolvida em funções como o raciocínio e a linguagem.

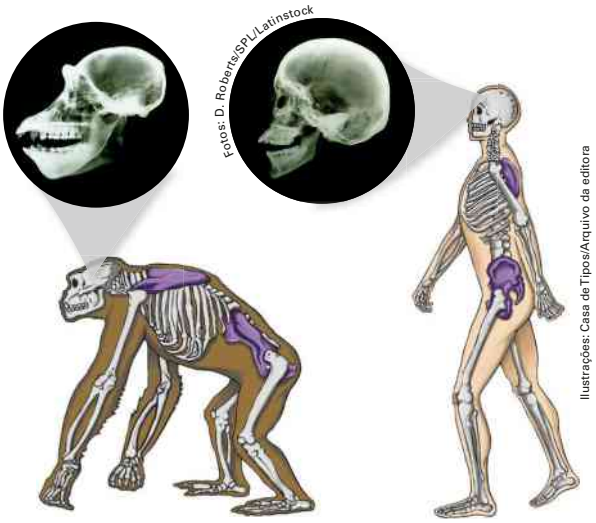


Figura 12.1 A maneira como os ossos da perna se articulam com os ossos do quadril confere à espécie humana a postura ereta, uma das primeiras características de nossos ancestrais (os elementos não estão na mesma escala; cores fantasia). Nas fotos, radiografia de crânios de chimpanzé (à esquerda) e de ser humano (à direita). O crânio do chimpanzé é bem menor que o do ser humano, e a mandíbula, maior.

Australopitecos

Entre os possíveis ancestrais da linhagem dos hominídeos estão os australopitecos, integrantes do gênero *Australopithecus* ('macaco do sul'). Eles viveram nas savanas africanas de 4,2 milhões a 1,4 milhão de anos atrás, mediam entre 1 m e 1,5 m de altura, pesavam entre 30 kg e 50 kg e tinham o crânio semelhante ao do chimpanzé. Estudando a posição dos ossos da bacia e do joelho e as impressões de suas pegadas, deduziu-se que todos podiam andar sobre duas pernas (bipedalismo), ou seja, tinham postura ereta.

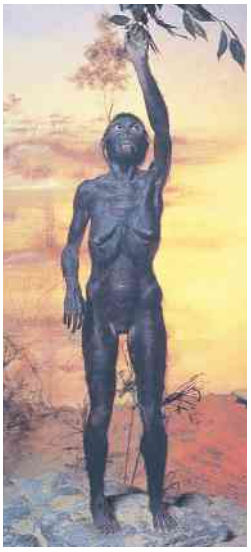
Em 1974, foi descoberto na Etiópia um fóssil com cerca de 3,2 milhões de anos. Ele pertencia, possivelmente, a uma criatura do sexo feminino, com 30 kg, 1,07 m de altura e postura ereta, era formado por 52 ossos e o crânio tinha 420 cm^3. Foi batizado de Lucy (**figura 12.2**). Lucy pertence à espécie *Australopithecus afarensis* (descoberta na região de Afar, na Etiópia), que viveu entre 3,8 milhões e 2,9 milhões de anos atrás e tinha de 375 cm^3 a 550 cm^3 de crânio, semelhante ao do chimpanzé, mas com dentes e ossos da perna parecidos com os da espécie humana, além de ter postura ereta (pegadas preservadas em cinzas vulcânicas reforçam essa hipótese).

Outros fósseis mais antigos do que Lucy foram descobertos, como o *Ardipithecus ramidus* (*Ardi* significa 'solo'; *pithecus*, 'macaco'; e *ramid*, 'raiz'), de 4,5 milhões a 4,3 milhões de anos; o *Australopithecus anamensis* (*anam* significa 'lago', porque foi encontrado próximo ao lago Turkana, no Quênia), de 4,2 milhões a 4,1 milhões de anos; o *Orrorin tugenensis* (*Orrorin* significa 'homem original' no dialeto Tugen; *tugenensis* porque foi encontrado na região de Tugen Hills, Quênia), com 6 milhões a 5,8 milhões de anos; e o *Sahelanthropus tchadensis* (o nome refere-se a Sahel e Chad, locais na África Central, onde o fóssil foi descoberto), que, com cerca de 7 milhões de anos, talvez seja o mais próximo dos antepassados comuns do chimpanzé e do homem.

Com cerca de 1,2 m de altura, o *Ardipithecus ramidus* tinha capacidade craniana semelhante à do chimpanzé, mas seus caninos superiores eram menores do que os dos chimpanzés atuais e mais parecidos com os dos humanos. A anatomia da pélvis e das mãos sugere que ele poderia andar ereto por distâncias curtas, embora não tão bem quanto os australopitecos. O dedão do pé oposto aos outros dedos e os ossos longos dos dedos indicam que ele deveria passar parte do tempo deslocando-se nas árvores.

Há cerca de 3 milhões a 2,2 milhões de anos surgiram outras espécies de australopitecos (**figura 12.3**), como o *Australopithecus africanus*, o *Australopithecus garhi* (*gahri* significa 'surpresa', na língua afar, falada na Etiópia) e o *Australopithecus robustus* (mais tarde colocado em outro gênero e denominado *Paranthropus robustus*).

Alain Nogues/Corbis/Latinstock



Reprodução/Institute of human Origins

Figura 12.2 Restos do esqueleto de Lucy e, ao lado, sua reconstituição.

Javier Trueba/MSF/SPL/Latinstock

National Geographic Vintage/Corbis/Latinstock

Figura 12.3 **A**: o crânio do *Australopithecus africanus* (à esquerda) é semelhante ao do chimpanzé (à direita), mas é um pouco maior e possui dentes mais semelhantes aos da espécie humana; **B**: reconstituição artística de *Paranthropus robustus* defendendo território (1,20 m de altura; cores fantasia).

O gênero *Homo*

Dos australopitecos podem ter surgido os primeiros representantes do gênero *Homo*, com corpo e cérebro maiores, entre eles o *Homo habilis* (figura 12.4). Os australopitecos já usavam pedaços de pedra ou ossos para cavar, pegar pequenos animais e se defender, e o *Homo habilis* foi o primeiro a fabricar ferramentas de pedra lascada (quebradas de modo a ficar com uma borda afiada), que deviam servir de faca para cortar a carne de animais (pilhas de ossos de animais foram encontradas próximo aos fósseis dessa espécie). Dessa capacidade vem o nome da espécie: 'homem habilidoso'. Ele viveu entre 2,4 milhões e 4 milhões de anos atrás e seu cérebro era maior que o dos australopitecos. O volume do seu crânio variava de 500 cm^3 a 670 cm^3.

Philippe Plailly/Eurelios/SPL/Latinstock

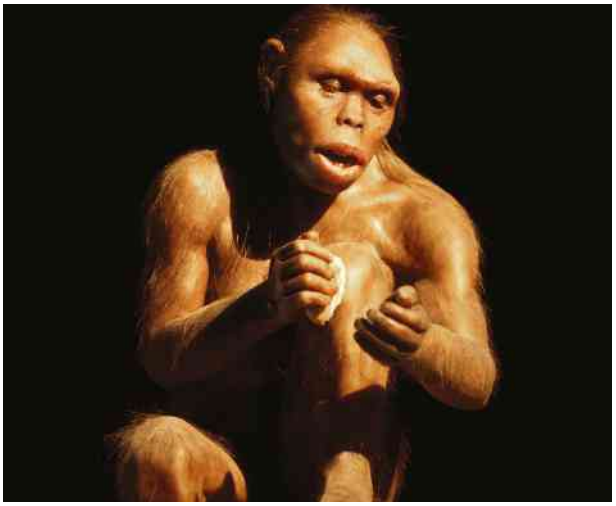
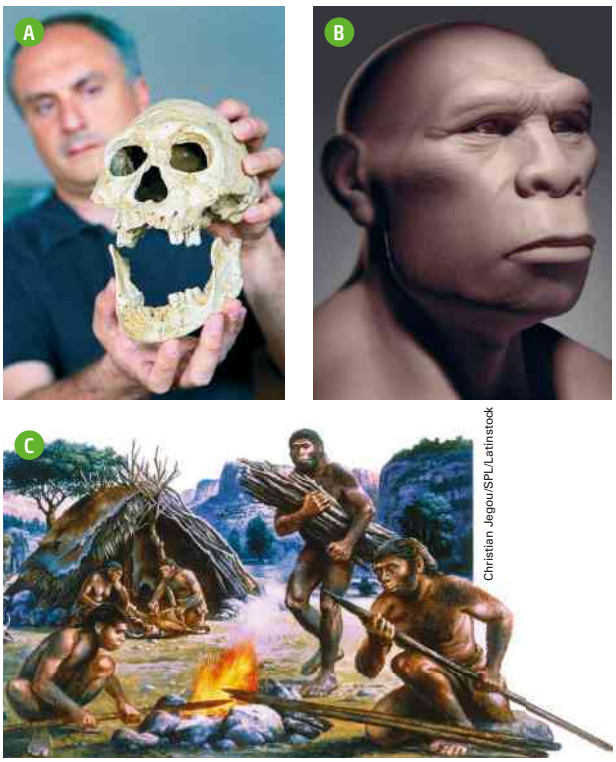


Figura 12.4 Reconstituição do *Homo habilis* (cerca de 1,5 m de altura) fabricando ferramenta de pedra.

Embora tenha surgido depois do *Homo habilis*, o *Homo erectus* foi descoberto antes e considerado na época o primeiro hominídeo ereto. Foi uma espécie que perdurou por mais de 1 milhão de anos (viveu entre 1,8 milhão e 500 mil anos atrás). Nesse período, seu crânio, de início com 800 cm^3 (o dobro da média do crânio do chimpanzé e pouco mais da metade do crânio do ser humano atual), aumentou para mais de 1300 cm^3 (figura 12.5). Deve ter sido também o primeiro a dominar e a usar o fogo; foram encontradas pilhas de carvão vegetal ao lado de ossos humanos em cavernas, que poderiam ter servido para se aquecer, cozinhar a carne ou trabalhar melhor a pedra. O uso do fogo deve ter facilitado sua capacidade de migração. Ele foi o primeiro de nossos ancestrais distantes a sair da África.

Reuters Newmedia/Corbis/Latinstock

Science Picture Co./Corbis/Latinstock



Christian Jegou/SPL/Latinstock

Figura 12.5 **A**: crânio do *Homo erectus* com cerca de 960 cm^3; **B**: reconstituição do rosto com base no crânio; **C**: reconstituição dessa espécie (cerca de 1,70 m) usando o fogo e preparando lanças (cores fantasia).

Enquanto os australopitecos e o *Homo habilis* foram encontrados apenas na África, o *Homo erectus* foi encontrado também na Ásia e na Europa. As ferramentas que usava eram mais complexas que as anteriores: o *Homo habilis* utilizava pedras lascadas apenas de um lado; o *Homo erectus* produzia pedras lascadas dos dois lados, o que sugere que elas podem ter sido usadas presas a pedaços de pau, formando uma espécie de machado. Tudo indica também que o *Homo erectus* caçava em bandos.

A partir de 500 mil anos atrás, aparecem fósseis com crânios maiores que os do *Homo erectus* e menores que os da espécie humana atual. Eles foram classificados como formas muito antigas do *Homo sapiens*.

Entre 230 mil e 30 mil anos atrás viveu outro hominídeo, que ficou conhecido como o homem de Neanderthal (figura 12.6) porque seus primeiros fósseis foram descobertos em uma caverna do vale de Neander, na Alemanha. Ele já foi considerado uma subespécie do *Homo sapiens* e batizado como *Homo sapiens neanderthalensis*, mas, atualmente, é classificado como uma espécie diferente, a *Homo neanderthalensis*.

Seu crânio era maior que o da espécie humana atual – em média, 1 450 cm^3 contra 1 350 cm^3 –, mas essa diferença para mais pode estar relacionada à sua forma mais robusta (ele talvez precisasse de um número maior de neurônios para comandar a massa muscular maior), e não a uma inteligência mais desenvolvida. As ferramentas e as armas eram mais desenvolvidas que as do *Homo erectus*. Já fabricava instrumentos de pedra bem trabalhados, que usava para furar peles e confeccionar vestimentas, utilizava lanças de madeira, morava em cavernas e abatia animais de grande porte. A descoberta de grãos de pólen junto a certos fósseis leva a crer que enterrava seus mortos e colocava flores nos túmulos.

SPL/Latinstock

B Christopher/Alamy/Latinstock

SPL/Latinstock

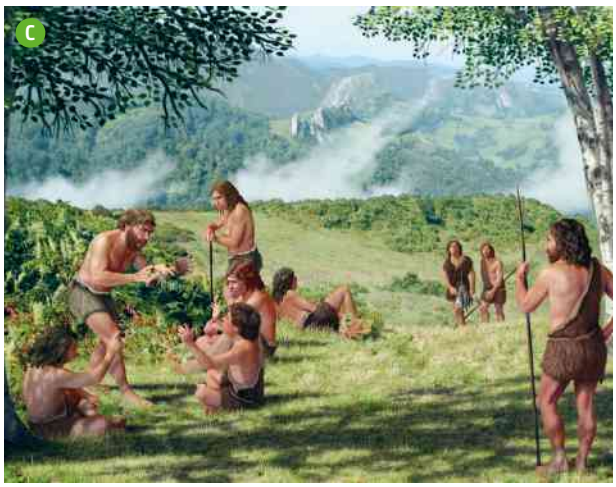


Figura 12.6 **A**: crânio do homem de Neanderthal (em média, 1 450 cm^3); **B**: reconstituição do rosto com base no crânio (Museu Nacional de História Natural de Washington D.C., EUA); **C**: representação de um grupo de indivíduos (cerca de 1,60 m de altura; cores fantasia).

O homem de Neanderthal se extinguiu há cerca de 30 mil anos, talvez por causa da competição com a espécie atual do ser humano, a *Homo sapiens*, que pode ter surgido do *Homo erectus* entre 200 mil a 150 mil anos. O fóssil mais conhecido da espécie *Homo sapiens* é o homem de Cro-Magnon (em referência à região da França onde esse fóssil foi encontrado). Ele fabricava ótimas ferramentas (faca, lança, arco e flecha, etc.) e tinha certas habilidades artísticas; foram encontradas em cavernas pinturas que retratam diversas cenas de caça (**figura 12.7**).

Francis G. Mayer/Corbis

Figura 12.7 Uma pintura feita pelo homem de Cro-Magnon em uma caverna de Lascaux, na França.

Há cerca de 12 mil anos, o homem passava de caçador a agricultor e surgiam as primeiras civilizações. A partir daí, a evolução cultural foi responsável pela rápida aceleração das transformações humanas. Para avaliar esse desenvolvimento, basta comparar as rápidas transformações ocorridas nos últimos 10 mil anos com as lentas transformações ocorridas do australopiteco ao *Homo sapiens* (**figura 12.8**).

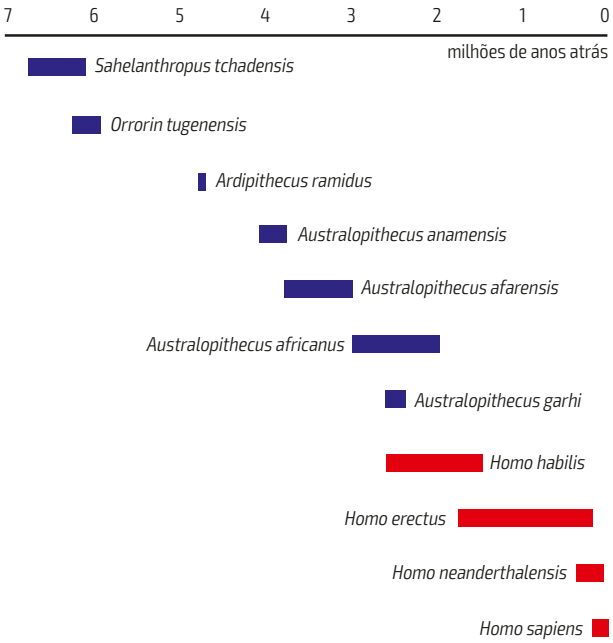


Figura 12.8 Alguns possíveis ancestrais dos hominídeos (a cor vermelha indica o gênero *Homo*). A largura dos retângulos indica o período em que cada espécie viveu na Terra, em milhões de anos. A divergência entre a espécie humana e o chimpanzé deve ter ocorrido entre 7 milhões e 4 milhões de anos atrás. A partir do *Australopithecus anamensis*, todos tinham postura ereta.

Biologia e ética

O ser humano e a evolução

Não é possível explicar todas as características humanas em termos evolutivos. Primeiro, porque nossa espécie não está sujeita apenas à evolução biológica, mas também à evolução cultural – estudada principalmente em História, Sociologia e outras ciências sociais. Com o desenvolvimento de um cérebro complexo, que nos dá grande capacidade de aprendizagem, houve também o desenvolvimento da linguagem, da cultura e da consciência. Mais do que outras espécies, somos capazes de prever as consequências de nossos atos. Isso significa que podemos, conscientemente, escolher como devemos viver.

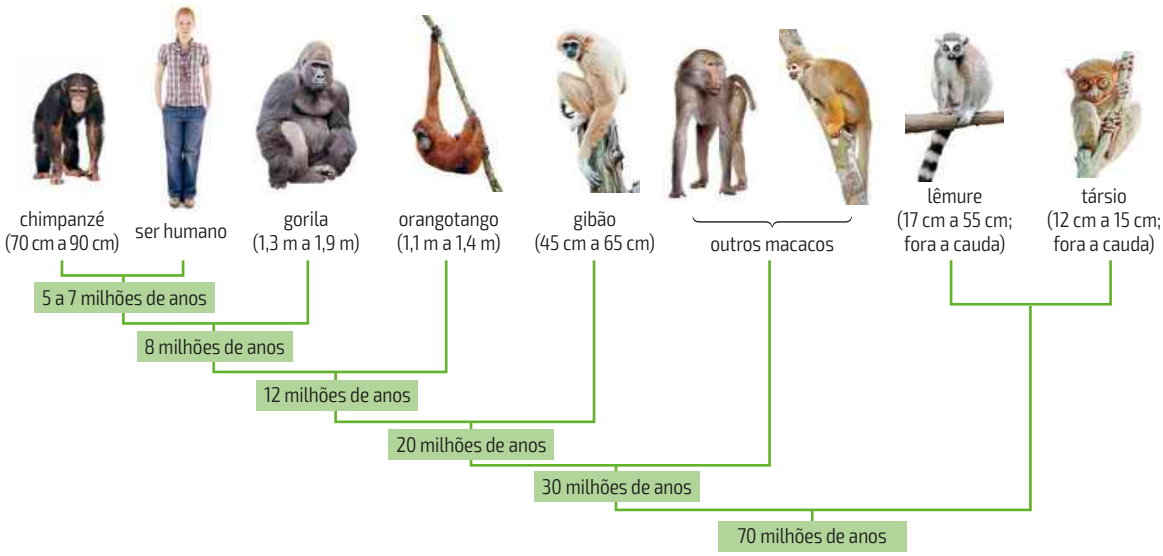
Além disso, a ciência não pode e nem pretende responder a todas as perguntas que o ser humano propõe. Existem outras formas de conhecimento que respondem a perguntas diferentes acerca do mundo. Para o evolucionista Stephen Jay Gould, a ciência estuda o mundo natural, e não o nosso universo moral. Isso quer dizer que a ciência estuda a natureza e os fenômenos como eles são e não como deveriam ser. A ciência estuda fatos e não valores éticos. Os valores éticos são discutidos pela Religião e pela Filosofia, por exemplo.

Fonte de pesquisa: Gould, S. J. *Pilares do tempo*: ciência e religião na plenitude da vida. São Paulo: Rocco, 2002.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Observe a figura abaixo e responda às questões.



Árvore filogenética simplificada indicando o parentesco evolutivo entre a espécie humana e outros primatas. No grupo "outros macacos" estão representados o babuíno (cerca de 1 m) e o mico-de-cheiro (aproximadamente 35 cm). Observação: há duas espécies de chimpanzés: o chimpanzé comum (*Pan troglodytes*) e o bonobo (*Pan paniscus*). (As medidas indicam o comprimento do animal.)

a) Entre os primatas representados na figura, quais são os mais próximos da espécie humana e quais são os mais distantes?

b) Em 2011, um gorila chamado Ambam ficou famoso por um vídeo na internet no qual aparece caminhando sobre os dois pés, como os seres humanos. Ambam nasceu em 1990 e vive em um zoológico na Inglaterra. Seus criadores atribuem a habilidade de Ambam à convivência com seres humanos. Apesar de existirem exceções como essa, o andar bípede é comum apenas em primatas humanos. Como essa forma de se locomover influenciou no modo como a espécie humana evoluiu?

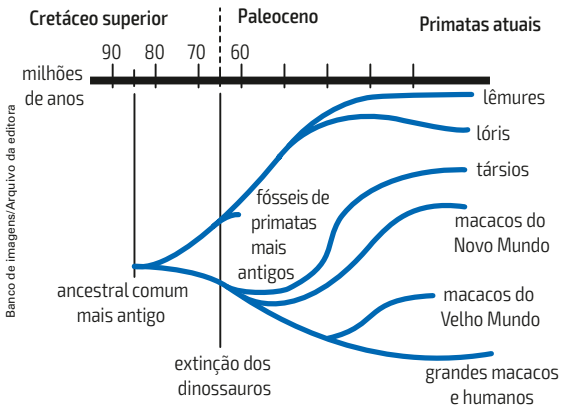
c) De acordo com o cladograma, há quantos anos os gorilas teriam surgido?

Da esquerda para a direita: Eric Isselee/Shutterstock/Glow Images; Iryna Rasko/Shutterstock/Glow Images; Sascha Preussner/Shutterstock/Glow Images; Mateej Hudovernik/Shutterstock/Glow Images; Tratong/Shutterstock/Glow Images; Eric Isselee/Shutterstock/Glow Images; Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo; Volodymyr Burdiak/Shutterstock/Glow Images; Olga Khoroshunova/Shutterstock/Glow Images

2. (Vunesp-SP) A especiação do *Homo sapiens* tem pouca chance de ocorrer, considerando a atual condição da espécie humana. Assinale a afirmação que melhor sustenta essa hipótese.

a) A ciência moderna tem eliminado as mutações humanas.
b) Os medicamentos atuais diminuem a incidência de doenças.
c) Os postulados de Darwin não se aplicam à espécie humana.
d) As alterações ambientais que favorecem a especiação são cada vez menores.
X e) Os meios modernos de locomoção e comunicação têm diminuído ou eliminado os isolamentos geográficos.

3. (Enem) Foi proposto um novo modelo de evolução dos primatas elaborado por matemáticos e biólogos. Nesse modelo o grupo de primatas pode ter tido origem quando os dinossauros ainda habitavam a Terra, e não há 65 milhões de anos, como é comumente aceito.



Fonte: Raquel Aguiar, *Ciência Hoje On-line*, 13/5/2002.

Examinando essa árvore evolutiva, podemos dizer que a divergência entre os macacos do Velho Mundo e o grupo dos grandes macacos e de humanos ocorreu há aproximadamente:

a) 10 milhões de anos.
X b) 40 milhões de anos.
c) 55 milhões de anos.
d) 65 milhões de anos.
e) 85 milhões de anos.

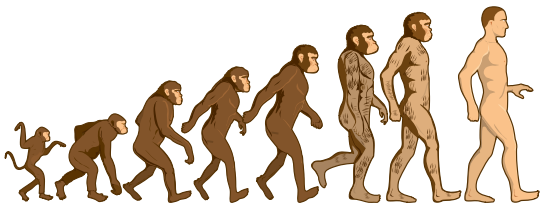
4. (Ufscar-SP) Considere as seguintes características da espécie *Homo sapiens*:

I. ausência de cauda
II. presença de vértebras
III. coração com quatro cavidades
IV. endotermia (homeotermia)

A ordem cronológica mais provável de ocorrência desses eventos ao longo da história evolutiva dos cordados foi:

a) I, II, III e IV.
b) I, III, II e IV.
X c) II, III, IV e I.
d) II, IV, I e III.
e) III, IV, II e I.

5. (FGV-SP) É comum que os livros e meios de comunicação representem a evolução do *Homo sapiens* a partir de uma sucessão progressiva de espécies, como na figura.



Coloca-se na extrema esquerda da figura as espécies mais antigas, indivíduos curvados, com braços longos e face simiesca. Completa-se a figura adicionando, sempre à direita, as espécies mais recentes: os australopitecos quase que totalmente eretos, os neandertais, e finaliza-se com o homem moderno. Essa representação é:

a) adequada. A evolução do homem deu-se ao longo de uma linha contínua e progressiva. Cada uma das espécies fósseis já encontradas é o ancestral direto de espécies mais recentes e modernas.
b) adequada. As espécies representadas na figura demonstram que os homens são descendentes das espécies mais antigas e menos evoluídas da família: gorila e chimpanzé.
c) inadequada. Algumas das espécies representadas na figura estão extintas e não deixaram descendentes. A evolução do homem seria melhor representada inserindo-se lacunas entre uma espécie e outra, mantendo-se na figura apenas as espécies ainda existentes.
X d) inadequada. Algumas das espécies representadas na figura podem não ser ancestrais das espécies seguintes. A evolução do homem seria melhor representada como galhos de um ramo, com cada uma das espécies ocupando a extremidade de cada um dos galhos.
e) inadequada. As espécies representadas na figura foram espécies contemporâneas e, portanto, não deveriam ser representadas em fila. A evolução do homem seria melhor representada com as espécies colocadas lado a lado.

6. (PUC-RS)

"Venho tentando traçar meus ancestrais mas, depois de duas gerações, eles viram outra espécie."

Considerando o processo evolutivo que deu origem ao *Homo sapiens*, como espécie, a ordem correta de aparecimento dos grupos ancestrais, do mais antigo ao mais recente, foi

X a) *Australopitecus afarensis*, *Homo habilis* e *Homo erectus*.

b) *Australopitecus afarensis*, *Homo erectus* e *Homo habilis*.

c) *Australopitecus anamensis*, *Homo erectus* e *Homo habilis*.

d) *Australopitecus anamensis*, *Homo neanderthalensis* e *Homo habilis*.

e) *Australopitecus anamensis*, *Homo neanderthalensis* e *Homo erectus*.

7. (Vunesp-SP) Há cerca de 40 000 anos, duas espécies do gênero *Homo* conviveram na área que hoje corresponde à Europa: *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*. Há cerca de 30 000 anos, os neandertais se extinguiram, e tornamo-nos a única espécie do gênero.

No início de 2010, pesquisadores alemães anunciaram que, a partir de DNA extraído de ossos fossilizados, foi possível sequenciar cerca de 60% do genoma do neandertal. Ao comparar essas sequências com as sequências de populações modernas do *H. sapiens*, os pesquisadores concluíram que de 1% a 4% do genoma dos europeus e asiáticos é constituído por DNA de neandertais. Contudo, no genoma de populações africanas não há traços de DNA neandertal.

Isto significa que:

a) os *H. sapiens*, que teriam migrado da Europa e Ásia para a África, lá chegando entrecruzaram com os *H. neanderthalensis*.

X b) os *H. sapiens*, que teriam migrado da África para a Europa, lá chegando entrecruzaram com os *H. neanderthalensis*.

c) o *H. sapiens* e o *H. neanderthalensis* não têm um ancestral em comum.

d) a origem do *H. sapiens* foi na Europa, e não na África, como se pensava.

e) a espécie *H. sapiens* surgiu independentemente na África, na Ásia e na Europa.

8. (UEM-PR) Darwin foi o primeiro a propor nossa relação de parentesco evolutivo com os grandes macacos, incluindo definitivamente a espécie humana no reino animal e, de certa forma, rebaixando-a do ponto mais alto da criação. 01 + 04 + 08 = 13

Nesse sentido, identifique e some o que for correto.

(01) Os resultados das análises comparativas mostraram que, de fato, os chimpanzés são mais semelhantes a nós, do ponto de vista molecular, que qualquer outro ser vivo.

(02) Os seres humanos fazem parte do filo Chordata, subfilo Vertebrata, classe Mammalia, ordem Primates, família Anthropoidea, gênero *Homo* e espécie *sapiens*.

(04) Os primatas desenvolveram, entre outros atributos, mãos dotadas de grande mobilidade e flexibilidade. As suas mãos apresentam o primeiro dedo oponível, funcionando como pinça para agarrar.

(08) Um grande avanço, na passagem evolutiva de australopiteco para a espécie humana atual, é o desenvolvimento do sistema nervoso e, consequentemente, da inteligência.

(16) Admite-se que o salto mais prodigioso da humanidade rumo ao conhecimento tenha sido o desenvolvimento da fala, que ocorreu há cinco mil anos. As gerações humanas passaram, desde então, a deixar, para as gerações futuras, informações sobre seu modo de vida e suas realizações.

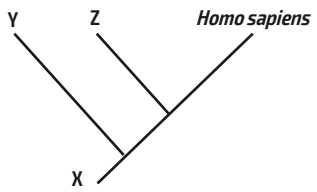
9. (UFG-GO)

Risco de diabetes tipo 2 associado a gene dos Neandertais

Uma variante do gene SLC16A11 aumenta o risco de diabetes entre os latino-americanos. As análises indicaram que a versão de maior risco dessa variante foi herdada dos Neandertais. As pessoas que apresentam a variação SLC16A11 em um dos alelos, são 25% mais propensas a desenvolver o diabetes, já aquelas que herdaram de ambos os pais, essa probabilidade sobe para 50%.

Disponível em: <www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2013/12/131225_neandertal_ lk.shtml>. Acesso em: 26 mar. 2014. (Adaptado.)

Analise o cladograma, que representa uma parte da evolução humana, apresentado a seguir.



Nesse cladograma, o elemento que indica a espécie citada no texto que transmitiu a variante do gene SLC16A11 para o *Homo sapiens* e a característica evolutiva compartilhada por ambos são, respectivamente,

a) X e capacidade de elaborar ferramentas de caça.
b) Y e capacidade de elaborar ferramentas de caça.
X c) Z e capacidade de realizar cerimônia de funeral.
d) X e capacidade de realizar cerimônia de funeral.
e) Y e capacidade de desenvolver a postura ereta.

10. (UEL-PR-modificado)

Muitas vezes, o processo de evolução por seleção natural é alvo de interpretações distorcidas. E quando o assunto é a evolução humana, a distorção pode ser ainda maior, pois o Homo sapiens *é apresentado como o ápice do desenvolvimento. As ilustrações mais conhecidas da evolução estão todas direcionadas no sentido de reforçar uma cômoda concepção da inevitabilidade e da superioridade humanas. A principal versão dessas ilustrações é a série evolutiva ou escada de progresso linear. Esse avanço linear ultrapassa os limites das representações e alcança a própria definição do termo evolução: a palavra tornou-se sinônimo de progresso. A história da vida não é uma escada em que o progresso se faz de forma previsível e sim um arbusto ramificado e continuamente podado pela tesoura da extinção.*

(Adaptado de: GOULD, S. J. *Vida maravilhosa*: o acaso na evolução e a natureza da história. São Paulo: Companhia das Letras, 1989. p. 23-31.)

A árvore filogenética, representada na figura a seguir, é construída com base nas comparações de DNA e proteínas.

Com base na análise dessa árvore filogenética, assinale a alternativa correta.

a) O grupo formado pelos lêmures é o mais recente, porque divergiu há mais tempo de um ancestral comum.
b) Os chimpanzés apresentam maior proximidade filogenética com os gorilas do que com os humanos.
c) Os gorilas compartilham um ancestral comum mais recente com os gibões do que com o grupo formado por chimpanzés e seres humanos.
d) Os gorilas são os ancestrais comuns mais recentes do grupo formado por chimpanzés e seres humanos.
X e) Os macacos do Velho Mundo e do Novo Mundo apresentam grande proximidade filogenética entre si.

Sugestões de aprofundamento

Para ler:

- **Bates, Darwin, Wallace e a teoria da evolução.** Ricardo Ferreira. Recife: Cepe, 2012.
- **O que é a evolução.** Ernst Mayr. São Paulo: Rocco, 2009.

Para acessar:

- **HIV: A última palavra em evolução:** <www.ib.usp.br/evosite/relevance/IA2HIV.shtml>
- **Museu Virtual da Evolução Humana:** <www.ib.usp.br/biologia/evolucaohumana>

Acesso em: 13 maio 2016.

Para assistir:

- **A guerra do fogo.** Jean-Jacques Annaud. França/Canadá, 1981. 101 minutos. Na Pré-História, duas tribos de hominídeos em estágios diferentes de domínio do fogo e da linguagem encontram-se quando o fogo de uma das tribos tribo é apagado.

UNIDADE 4

Ecologia

A poluição do ar e da água, a desertificação do solo, o esgotamento de recursos naturais, a excessiva produção de lixo e a diminuição da biodiversidade são alguns dos efeitos colaterais da ação do ser humano sobre o ambiente ao longo da História.

No estudo da Ecologia (do grego *oikos* = casa e, por extensão, ambiente; *logos* = estudo), vamos analisar como é complexo e delicado o equilíbrio entre o meio ambiente e os seres vivos e indicar algumas alternativas para preservar e restaurar essa estabilidade.

CAPÍTULO 13

O campo de estudo da Ecologia

Claire Leimbach/robertharding/Getty Images

Todos os seres humanos causam alterações no ambiente para sobreviver. Algumas culturas provocam menos impacto, enquanto outras podem estar prestes a esgotar recursos fundamentais para a sobrevivência de inúmeros seres vivos.

Assim como os humanos, os demais seres vivos consomem recursos do ambiente. No entanto, nossa necessidade cada vez maior de consumir, sem levar em conta os impactos socioambientais dessa postura, tem afetado o meio ambiente de uma forma que pode ser irreversível. Para evitar que os recursos naturais sejam comprometidos, é preciso que a interferência humana no ambiente seja consciente e responsável. Nesse sentido, conhecer conceitos de Ecologia nos ajuda a participar, de forma esclarecida, das decisões que afetam a sociedade e o meio ambiente.

- *Quais são os níveis de organização da vida?*
- *O que são fatores bióticos e abióticos? Como eles se relacionam em um ecossistema?*
- *O que a Ecologia estuda?*

1 Níveis de organização da vida

Como vimos no Volume 1, a maioria dos organismos pluricelulares é formada por grupos especializados de células – os **tecidos** –, que se agrupam em **órgãos**. Estes estão integrados em unidades mais amplas – os **sistemas** –, reunidos no organismo (figura 13.1).

Embora a Ecologia também estude como um indivíduo é influenciado pelos fatores ambientais (temperatura, umidade, etc.) e, neste caso, superponha-se ao estudo da fisiologia do organismo, a maior parte dos estudos ecológicos preocupa-se com as relações que ocorrem em níveis de organização que vão além do organismo: **populações**, **comunidades** e **ecossistemas**.

Uma população é formada pelos indivíduos da mesma espécie que vivem em uma mesma área e mantêm relações entre si. É o caso da população humana de uma cidade, da população de esquilos de uma floresta ou da população de crocodilos em um rio.

As populações de uma região dependem umas das outras. Por exemplo, os animais não vivem sem as plantas; são elas que produzem as substâncias orgânicas (açúcares, gorduras, proteínas, etc.) que eles utilizam como matéria-prima para a obtenção de energia, necessária para seu crescimento e sobrevivência.

Populações que habitam a mesma área e mantêm relações entre si formam um novo nível de organização, chamado **comunidade**, **biocenose** (do grego *bios* = vida; *koinos* = em comum) ou **comunidade biótica** (figura 13.1).

Como mencionado anteriormente, a Ecologia também estuda as relações entre os seres vivos e o meio físico. O gás carbônico, a água e os sais minerais, por exemplo, são transformados pelas plantas em substâncias orgânicas. Microrganismos que vivem na terra transformam a matéria orgânica das folhas mortas, dos cadáveres e das excretas, novamente, em substâncias inorgânicas. Desse modo, promovem importante reciclagem da matéria na natureza. Portanto, há um constante intercâmbio de matéria e energia entre os seres vivos e o ambiente.

Esses elementos físicos e químicos do ambiente que interagem com os seres vivos são chamados **fatores abióticos** (do grego *a* = sem; *bios* = vida), em oposição aos **fatores bióticos**, formados pelos seres vivos. O conjunto dos fatores abióticos é chamado **biótopo** (do grego *bio* = vida; *thopos* = lugar).

Figura 13.1 Níveis de organização da vida em exemplo na savana africana. Os microrganismos, como bactérias, fungos e algas não foram representados, mas também fazem parte dos ecossistemas. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Luiz Iria/Arquivo da editora

A reunião e a interação da comunidade com o ambiente físico formam um **sistema ecológico** ou **ecossistema** (figura 13.1). A savana africana – com sua vegetação, seus animais, seu tipo de solo e seu clima característico – é um ecossistema, assim como um lago, um oceano e até um simples aquário.

O conjunto de florestas, campos, desertos e outros grandes ecossistemas formam a **biosfera** (do grego *bios* = vida; *sphaîra* = esfera, globo). A biosfera pode ser definida como a região da Terra onde há vida. O termo é usado também como o conjunto de regiões do planeta em condições de sustentar a vida de modo permanente. A biosfera estende-se do topo das montanhas mais altas (cerca de 8 km de altitude) até o fundo dos oceanos (cerca de 11 km de profundidade).

Fique de olho!

Fazendo uma analogia, se a Terra fosse uma bola de basquete, a biosfera teria a espessura da camada de tinta sobre a bola.

Biologia e História

A Ecologia e o conceito de sustentabilidade

A preocupação com a poluição do ar é algo antigo. Há registro de reclamações sobre os efeitos da poluição na saúde desde a Grécia antiga. Mas foi durante a Revolução Industrial que ocorreu a primeira grande queda na qualidade do ar das cidades, principalmente na Inglaterra, na Alemanha e nos Estados Unidos devido à intensa queima de carvão para mover as máquinas e aquecer as casas. Ainda assim, as leis criadas para controlar a emissão de fumaça não tinham peso algum. Isso só começou a mudar na metade do século XX, quando ocorreu em Londres, no ano de 1952, um desastre conhecido como Grande nevoeiro (*Smog*).

Na ocasião, a cidade de Londres ficou coberta por uma fumaça densa durante quatro dias e estima-se que 4 mil pessoas tenham morrido. Esse desastre foi causado por uma combinação de fatores ambientais: uma camada de ar frio cobriu a cidade e fez com que a fumaça produzida pelas fábricas e pelos sistemas de aquecimento das residências não conseguisse se dispersar. Por ser rica em compostos de enxofre, a fumaça era amarelada e limitava a visibilidade a menos de meio metro (figura 13.2).

Outros problemas ambientais começaram a ser percebidos também após a metade do século XX, entre eles a chuva ácida e a diminuição da camada de ozônio.

Assim, dentro de um contexto de protestos de cunho político e social que se desenhava na década de 1960, um grupo de ambientalistas, conhecido como Clube de Roma, se reuniu, em 1968, para discutir os impactos causados pelo desenvolvimento industrial. Eles publicaram um estudo chamado *Os limites do crescimento*, em que projetaram, por meio de estudos matemáticos, os efeitos do crescimento populacional no aumento da poluição e na disponibilidade dos recursos naturais. Esse estudo, embora tivesse erros, contribuiu para um novo pensamento em relação aos impactos ambientais causados pelo desenvolvimento.

Assim, a Organização das Nações Unidas (ONU), juntamente com os Estados e a comunidade científica, realizou a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, em junho de 1972. Também conhecida como Conferência de Estocolmo, essa foi a primeira grande reunião voltada para as questões ambientais e preservação do meio ambiente. Princípios e conceitos definidos na ocasião tornaram-se base para o desenvolvimento na área do meio ambiente e, a partir dessa conferência, foram criadas inúmeras questões que colaboram até hoje para a mudança no pensamento e comportamento de grande parte da sociedade.

Fontes de pesquisa: <www.ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=12292>, <www.theguardian.com/environment/gallery/2012/dec/05/60-years-great-smog-london-in-pictures>, <www.eolss.net/sample-chapters/c09/e6-156-15.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2016.

Don Price/Getty Images

Figura 13.2 *Smog* fotoquímico em Londres, 1952.

2 *Habitat* e nicho ecológico

Em Ecologia, o ambiente físico em que vive uma espécie chama-se ***habitat***. O conjunto de relações que a espécie mantém com esse ambiente e com as outras espécies recebe o nome de **nicho ecológico** ou, simplesmente, **nicho**. Desse modo, para conhecer o nicho de uma espécie, precisamos saber do que ela se alimenta, onde e em que hora do dia obtém esse alimento, onde se reproduz e se abriga, como ela se defende de seus predadores, etc. O nicho corresponde ao modo de vida ou ao papel ecológico que a espécie desempenha no ecossistema.

Por exemplo, o jacaré-do-pantanal e a capivara são encontrados no Pantanal Mato-Grossense (*habitat*); mas o jacaré é carnívoro e a capivara, herbívora. Portanto, essas duas espécies, embora vivam no mesmo *habitat*, têm nichos diferentes.

A onça é encontrada nas florestas tropicais, no Cerrado e no Pantanal. Com isso, referimo-nos ao seu *habitat*. Quando dizemos que ela é um grande predador, estamos nos referindo ao seu nicho ecológico.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Um homem e uma serpente podem pertencer à mesma população? E à mesma comunidade? Em seu caderno, justifique suas respostas.

2. Duas espécies de pássaros vivem na mata Atlântica do Rio de Janeiro. Uma delas se alimenta do néctar das flores, a outra come insetos. Essas duas espécies possuem o mesmo *habitat*? Ocupam o mesmo nicho ecológico? Justifique suas respostas no caderno.

3. O tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) é encontrado nas florestas tropicais e nos cerrados, desde a Guatemala até a Argentina. É um animal de hábitos diurnos. Alimenta-se, principalmente, de cupins, localizados com seu longo focinho e olfato bem desenvolvido. Suas patas dianteiras possuem fortes garras, que usa para cavar a terra onde estão os cupinzeiros e formigueiros. Ele introduz no buraco o focinho e a língua pegajosa e comprida, na qual os insetos ficam presos, podendo, então, ser engolidos.

a) Qual é o *habitat* do tamanduá-bandeira?
b) Cite alguns trechos do texto que fazem referência ao nicho do tamanduá-bandeira.
c) Parte da anatomia animal é uma adaptação ao seu nicho. Quais adaptações do tamanduá-bandeira são relativas à sua alimentação?

4. O mosquito que transmite a malária (gênero *Anopheles*) é encontrado, principalmente, na região amazônica. O macho alimenta-se da seiva de plantas e a fêmea, do sangue de mamíferos. Ambos têm hábitos noturnos. O macho e a fêmea dessa espécie têm o mesmo nicho? Justifique sua resposta.

5. As espécies podem ser divididas em generalistas e especialistas. Aquelas sobrevivem em uma ampla variedade de condições ambientais e costumam ser encontradas em vários *habitat* diferentes. As especialistas dependem de certas condições mais específicas para sobreviver. É o caso do pinguim, encontrado, normalmente, apenas no ambiente frio da Antártida. Considerando os conceitos de *habitat* e nicho, responda: qual dos dois tipos de espécie corre, em geral, maior risco de extinção? Em seu caderno, justifique sua resposta.

6. (UFPR) Com o aumento do comércio globalizado entre países, damos oportunidade para que espécies que outrora existiam em uma região do planeta se dispersem para áreas onde não existiam previamente. Foi assim com o mexilhão-dourado, uma espécie de molusco originário do sudeste asiático que encontrou condições perfeitas para sua sobrevivência em águas continentais da bacia do Prata. Essa espécie, provavelmente, veio de "carona" na água usada como lastro em navios mercantes. Conseguiu se estabelecer em rios argentinos, brasileiros e uruguaios, causando enormes problemas ambientais e econômicos. O sucesso de estabelecimento dessa espécie na América do Sul (e de outras espécies consideradas exóticas em locais onde não existiam previamente) depende da inter-relação entre dois conceitos ecológicos: nicho ecológico e *habitat*. Assim:

a) Defina esses dois conceitos (nicho ecológico e *habitat*) de forma objetiva.
b) Explique como uma análise integrada desses dois conceitos permite prever o risco de colonização de um determinado ambiente por uma espécie exótica.

7. (Vunesp) Considere a afirmação: "As populações daquele ambiente pertencem a diferentes espécies de animais e vegetais". Escreva que conceitos estão implícitos nessa frase levando em consideração:

a) somente o conjunto de populações;

b) o conjunto de populações mais o ambiente abiótico.

8. (Udesc) Analise as proposições em relação à Ecologia.

I. As populações são formadas quando vários indivíduos da mesma espécie vivem em uma mesma área e mantêm relação entre si.

II. O *habitat* corresponde ao modo de vida ou ao papel ecológico que a espécie desempenha no ecossistema.

III. Comunidade ou biocenose são formadas por indivíduos da mesma espécie, que possuem pouca relação de interação entre si.

IV. Ecossistema é a reunião e a interação das comunidades com os fatores abióticos que atuam sobre essas comunidades.

Assinale a alternativa correta.

a) Somente as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.

b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.

X c) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.

d) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.

e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

9. (Enem) Suponha que o chefe do departamento de administração de uma empresa tenha feito um discurso defendendo a ideia de que os funcionários deveriam cuidar do meio ambiente no espaço da empresa. Um dos funcionários levantou-se e comentou que o conceito de meio ambiente não era claro o suficiente para falar sobre esse assunto naquele lugar.

Considerando que o chefe do departamento de administração entende que a empresa é parte do meio ambiente, a definição que mais se aproxima dessa concepção é:

a) Região que inclui somente cachoeiras, mananciais e florestas.

b) Apenas locais onde é possível o contato direto com a natureza.

c) Locais que servem de áreas de proteção onde fatores bióticos são preservados.

d) Apenas os grandes biomas, por exemplo, Mata Atlântica, Mata Amazônica, Cerrado e Caatinga.

X e) Qualquer local em que haja relação entre fatores bióticos e abióticos, seja ele natural, seja urbano.

10. (UEL-PR) Considere as frases seguintes:

I. Atualmente, *Rattus norvegicus* ocorre em todos os continentes.

II. As ratazanas de uma cidade vivem principalmente na rede de esgotos e nos depósitos de lixo.

III. Um rato branco é submetido a um experimento de fisiologia em um laboratório.

As frases nas quais se mencionam, respectivamente, um indivíduo, uma espécie e uma população são:

a) I, II e III.

b) I, III e II.

c) II, III e I.

X d) III, I e II

e) III, II e I.

11. (Unirio-RJ) Durante o verão podem ser encontrados sobre as folhas de uma certa planta um tipo de gafanhoto verde ou "esperança" e um determinado tipo de louva-a-deus, também verde. O primeiro desses insetos alimenta-se de folhas da planta e enterra seus ovos no solo, enquanto o segundo é predador, alimenta-se de insetos e usa o caule da mesma planta para fixar seus ovos. Esses insetos apresentam:

a) mesmo *habitat* e mesmo nicho ecológico.

b) mesmo *habitat* e função de decompositores.

c) diferentes *habitat* e biocenoses iguais.

d) diferentes *habitat* e mesmo nicho ecológico.

X e) mesmo *habitat* e diferentes nichos ecológicos.

Trabalho em equipe

Escolham um dos temas abaixo para pesquisa em grupo.

a) Com auxílio do professor de Sociologia, expliquem o que são Organizações Não Governamentais (ONGs) e quais são seus objetivos e sua importância.

b) O que é a hipótese Gaia, quem a formulou e quando? Qual avaliação os cientistas fazem a respeito dessa teoria?

CAPÍTULO 14

Cadeias e teias alimentares

Darlyne A. Murawski/Getty Images

Aranha do gênero *Argiope* (cerca de 2,5 cm de comprimento fora as pernas) alimentando-se de uma joaninha.

Assim como você, todos os animais precisam se alimentar e usam como fonte de nutrientes outros seres vivos, como as plantas. Estas, embora produzam a própria matéria orgânica, também precisam de nutrientes, que geralmente estão disponíveis no solo. Muitos dos minerais presentes no solo são resultado da atividade de fungos e bactérias sobre matéria orgânica morta, ou seja, organismos que já morreram. Por meio desse tipo de cadeia é que a matéria e a energia são transferidas de um ser vivo para outro. Neste capítulo, vamos estudar as relações alimentares que os organismos estabelecem entre si, formando cadeias e teias alimentares.

- *Como as plantas obtêm energia?*
- *Por que essa energia é tão importante não só para as plantas, mas para todo o ecossistema?*
- *O que acontece com as plantas e os animais quando eles morrem?*
- *Você se alimenta de plantas e de animais? Ou apenas de plantas? Como a sua alimentação muda sua relação com os outros seres vivos?*

1 Cadeia alimentar

A matéria e a energia de um ecossistema passam de um ser vivo para outro por meio da **nutrição**. Veja este exemplo: o capim é comido pelo boi; este é comido pelo ser humano.

Essa sequência de seres vivos em que um serve de alimento para outro é chamada **cadeia alimentar**.

Como vimos no Volume 1, as plantas, as algas, algumas bactérias e alguns protistas são autotróficos, ou seja, conseguem produzir açúcares a partir de substâncias minerais ou inorgânicas, como água (H_2O), gás carbônico (CO_2) e sais minerais. Nesse processo, chamado fotossíntese, a energia luminosa do Sol, absorvida pela clorofila, é armazenada nas ligações químicas dos açúcares formados (glicose, cuja fórmula molecular é $C_6H_{12}O_6$); são produzidas também moléculas de oxigênio (O_2), que são eliminadas para o ambiente:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{luz}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

A partir dos açúcares formados na fotossíntese e de sais minerais retirados do solo, a planta sintetiza as substâncias orgânicas que formam seu corpo.

Em vez da energia luminosa, algumas bactérias encontradas no solo e no fundo do mar usam a energia liberada na oxidação de amônia e de outros minerais. Esse processo é chamado quimiossíntese:

$$\text{amônia} \xrightarrow{\text{oxidação}} \text{nitrito + energia}$$

$$\text{nitrito} \xrightarrow{\text{oxidação}} \text{nitrato + energia}$$

Assim, os seres autotróficos são indispensáveis a qualquer comunidade ecológica, já que são os únicos capazes de transformar compostos inorgânicos em compostos orgânicos que servirão de alimento a todos os outros seres heterotróficos. Dizemos que os autotróficos são os **produtores** do ecossistema (ou produtores primários).

Para se alimentar, os animais herbívoros, como o gafanhoto, dependem diretamente dos vegetais; por isso são chamados **consumidores primários**. Eles servem de alimento aos carnívoros, que são os **consumidores secundários**, como o sapo, que se alimenta do gafanhoto. O sapo, por sua vez, pode servir de alimento para uma serpente. A serpente, neste caso, é um **consumidor terciário** (figura 14.1).

Cada etapa da cadeia alimentar é chamada **nível trófico** (do grego *trophé* = nutrição). As plantas ocupam o nível trófico dos produtores; os animais herbívoros ocupam o nível trófico dos consumidores primários; e assim por diante.

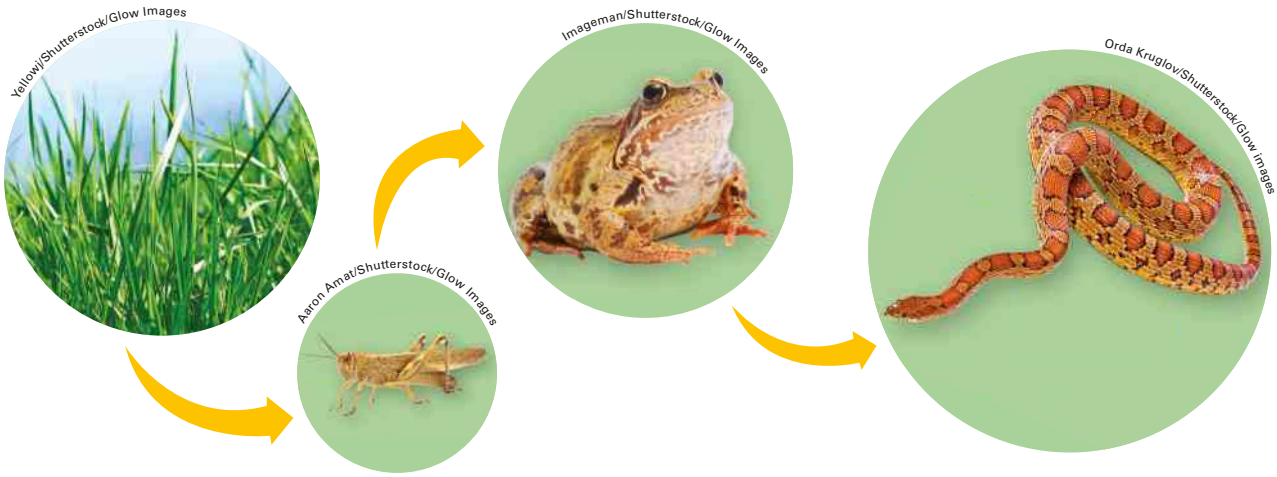


Figura 14.1 Exemplo de cadeia alimentar. As setas indicam que a transferência do alimento e da energia ocorre do produtor para os consumidores. Comprimento médio dos organismos: capim: 40 cm a 100 cm; gafanhoto: 1 cm a 8 cm; sapo: 14 cm a 18 cm; serpente, 3 m a 5 m.

Decompositores

Uma parte da matéria orgânica proveniente dos alimentos é quebrada e oxidada no corpo dos seres vivos para obtenção da energia necessária às suas atividades. Nesse processo são formados e liberados para o ambiente gás carbônico e água (no caso da respiração celular aeróbia) ou outros produtos, como o ácido lático e o álcool etílico (no caso da fermentação). A respiração celular e a fermentação foram estudadas com mais detalhes no Volume 1 desta coleção.

Outra parte da matéria orgânica ingerida é usada na construção do corpo do organismo: crescimento, reposição das partes gastas ou aumento do peso.

Essa parte, que forma o corpo do organismo, é devolvida ao ambiente após sua morte. Isso ocorre, principalmente, por meio da ação de fungos e bactérias que vivem no solo e na água. Chamados **decompositores**, esses seres quebram e oxidam excretas e restos orgânicos de plantas e animais mortos para obter a energia e as substâncias necessárias ao funcionamento de seu organismo (figura 14.2). Os resíduos desse processo são, entre outras substâncias, gás carbônico, água e amônia.

Como as substâncias minerais produzidas pela decomposição podem ser utilizadas novamente pelos outros seres vivos, podemos compreender o papel fundamental dos decompositores ao promover a reciclagem da matéria orgânica.

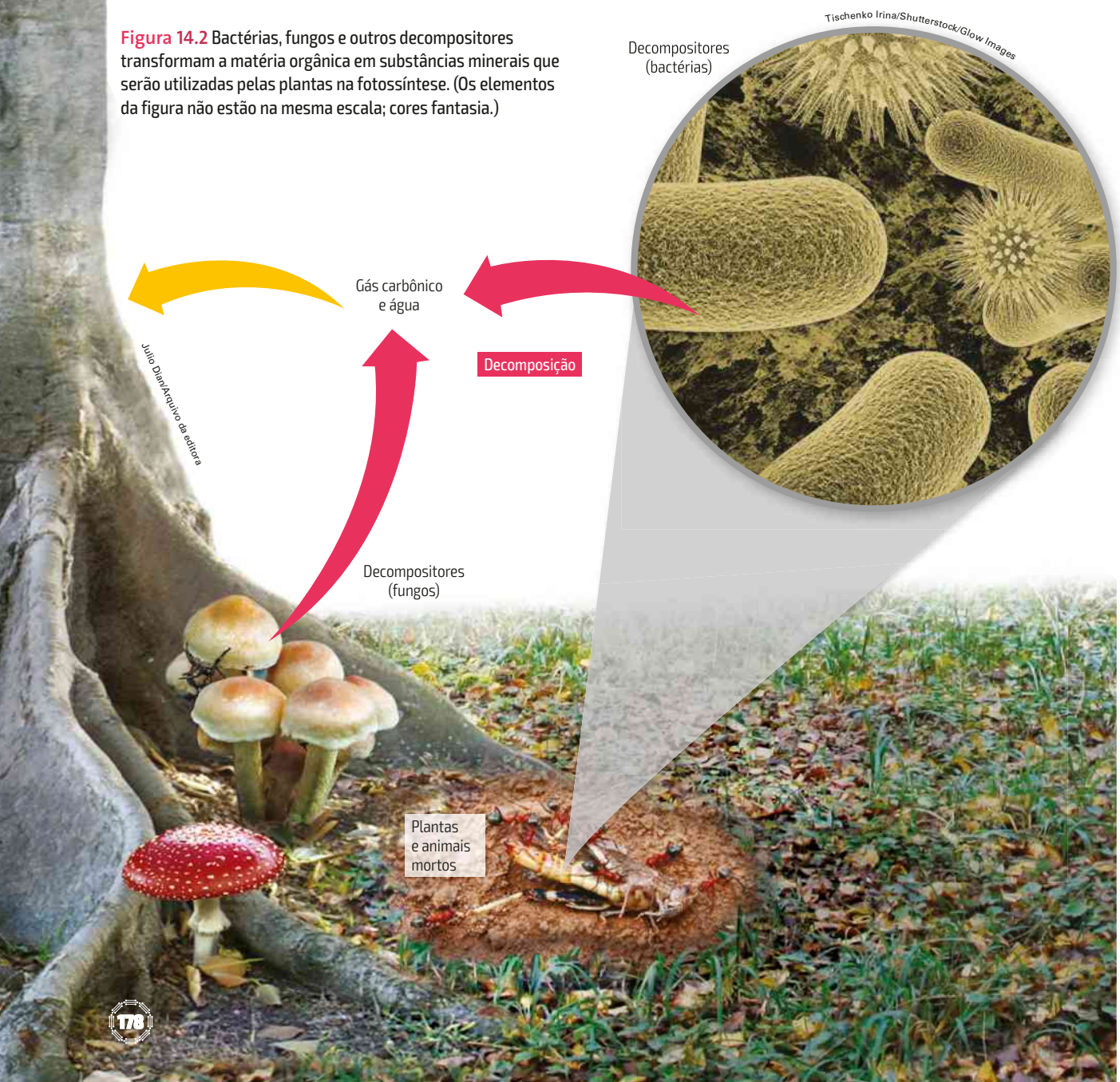


Figura 14.2 Bactérias, fungos e outros decompositores transformam a matéria orgânica em substâncias minerais que serão utilizadas pelas plantas na fotossíntese. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

2 Teia alimentar

Muitos animais têm alimentação variada, e outros servem de alimento a mais de uma espécie. Há também animais que, por se alimentarem de vegetais e de animais, podem ser consumidores primários, secundários ou terciários. São os animais **onívoros** (do latim *omni* = tudo; *vorare* = devorar), como o ser humano. Portanto, em uma comunidade há cadeias interligadas, que formam uma **rede** ou **teia alimentar** (figura 14.3).

Nas teias alimentares, certos animais podem ser, ao mesmo tempo, consumidores primários, secundários, etc., dependendo da cadeia alimentar selecionada. Veja, por exemplo, o caso do gavião-real da figura 14.3. Quando ele come uma arara que se alimenta de frutas, ele é um consumidor secundário, já que a arara, nesse caso, é um consumidor primário. Mas, quando come uma jiboia que comeu um rato, ele é um consumidor terciário, pois a jiboia é um consumidor secundário e o rato, um consumidor primário.

As diferentes relações entre esses seres vivos estabelecem um delicado equilíbrio ecológico, no qual a eliminação de alguns organismos pode prejudicar vários outros seres vivos. Imagine, por exemplo, que o número de onças de uma das cadeias que compõem a teia alimentar representada abaixo diminuísse drasticamente. Isso faria com que o número de capivaras aumentasse, consequentemente, o número de plantas diminuiria, o que seria prejudicial para todos os organismos desse ecossistema.

Figura 14.3 Esquema de teia alimentar em uma região de floresta. Comprimento aproximado dos animais: preguiça: 45 cm a 86 cm; arara: 80 cm a 90 cm; rato: 7 cm a 16 cm, fora a cauda; capivara: 1 m a 1,3 m; gavião-real: 90 cm a 1 m; jiboia: 3 m a 5 m; onça: 1 m a 2 m, fora a cauda. Fungos e bactérias são decompositores e, portanto, recebem matéria orgânica de todos os seres vivos da teia. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; bactérias e várias espécies de fungos são microscópicas; cores fantasia.)

Luiz Iria/Arquivo da editora

Nos ecossistemas terrestres, os principais produtores são os vegetais. Nos aquáticos (rios, mares, lagos, etc.), são as algas microscópicas, que formam o **fitoplâncton** (do grego *phyton* = planta; *plagkton* = o que vaga), nome dado ao conjunto de seres autotróficos que flutuam livremente na água. As algas servem de alimento para o **zooplâncton** (do grego *zoon* = animal), que é o conjunto de seres heterotróficos que também flutuam nas águas, como protozoários, pequenos invertebrados e larvas de vários animais.

Fluxo de energia e ciclo da matéria no ecossistema

Da energia luminosa que chega a um ecossistema, pouco mais de 1% é utilizado na fotossíntese, mas isso já é o suficiente para gerar de 150 bilhões a 200 bilhões de toneladas de matéria orgânica por ano. Boa parte desses compostos orgânicos é consumida na respiração da própria planta e eliminada como gás carbônico e água. Desse modo, a planta obtém a energia necessária para seu metabolismo. Parte dessa energia é liberada na forma de calor e o restante da matéria orgânica passa a fazer parte do corpo do organismo (raízes, caules e folhas, no caso dos vegetais superiores).

A matéria orgânica e a energia que ficaram retidas nos autotróficos compõem o alimento disponível para os consumidores. Uma parte das substâncias ingeridas por um animal é eliminada nas fezes e na urina. Outra parte é oxidada pela respiração para a produção da energia necessária ao movimento e às outras atividades do organismo. E há ainda uma parte que passa a fazer parte do corpo (crescimento e reposição de tecidos); esta é a parte que fica disponível ao nível trófico seguinte (figura 14.4).

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 14.4 Gafanhotos comendo folha. Apenas uma parte da energia e da matéria orgânica consumida permanece na cadeia para o nível trófico seguinte; o restante é eliminado nas fezes e pela respiração celular. (O comprimento dos gafanhotos varia em torno de 1 cm a 8 cm, dependendo da espécie.)

Esses processos se repetem em todos os níveis da cadeia alimentar. Parte da matéria e da energia do alimento não passa para o nível trófico seguinte e sai da cadeia na forma de fezes, urina, gás carbônico, água e calor.

Em média, apenas 10% da energia de um nível trófico passa para o nível seguinte (figura 14.5). Mas essa porcentagem pode variar entre 2% e 40%, dependendo das espécies da cadeia e do ecossistema em que se encontram.

Como vimos, os resíduos de cada nível trófico são disponibilizados para a cadeia alimentar pela ação dos decompositores, sendo utilizados mais uma vez pelos produtores. Assim, podemos dizer que a matéria de um ecossistema está em permanente reciclagem. No entanto, parte da energia é transformada em trabalho celular ou sai do corpo do organismo na forma de calor – e esta é uma forma de energia que não pode ser usada na fotossíntese. Por isso, o ecossistema precisa, constantemente, receber energia de fora e há um fluxo unidirecional de energia, que vai dos produtores para os consumidores.

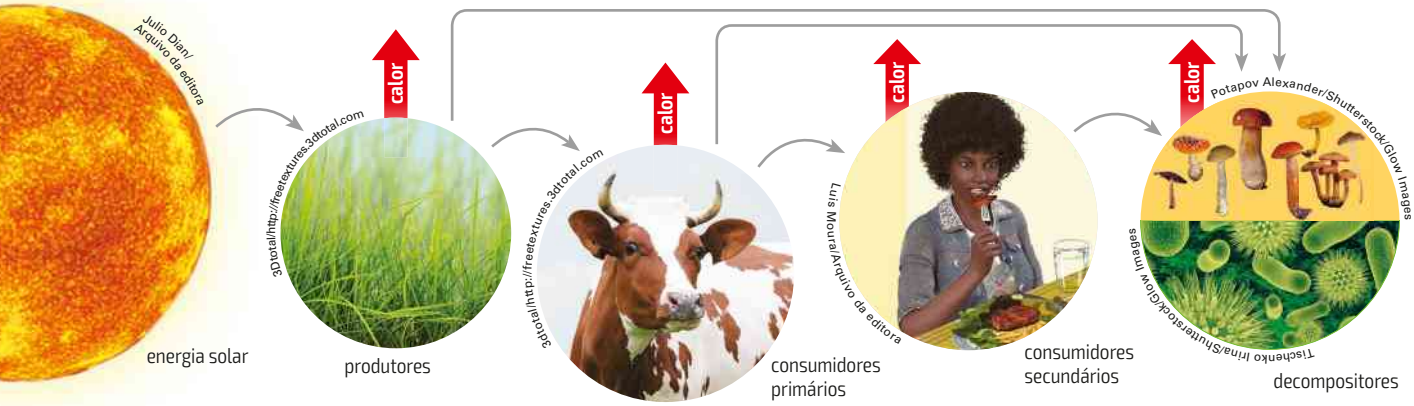


Figura 14.5 A quantidade de matéria e de energia disponíveis de um nível para outro diminui ao longo da cadeia alimentar. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Produtividade dos ecossistemas

A quantidade de matéria orgânica produzida pelas plantas de um ecossistema em certo intervalo de tempo e por determinada área ou determinado volume é chamada **produtividade primária bruta** (**PPB**). Se descontarmos a parte consumida pela própria planta na respiração (**R**), sobra a chamada **produtividade primária líquida** (**PPL**): PPB – R = PPL. A produtividade pode ser expressa em gramas ou quilogramas de matéria orgânica seca por metro quadrado por ano (ou por dia). Ela pode ser expressa também em função da energia absorvida ou transferida para determinado nível da cadeia e expressa em quilocalorias por metro quadrado por ano (ou por dia).

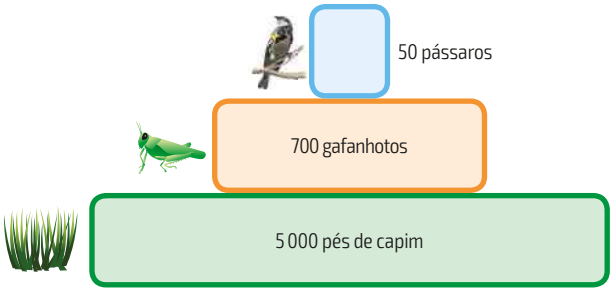
3 Pirâmides ecológicas

É possível representar os níveis tróficos de uma cadeia alimentar por meio de retângulos superpostos, que formam uma pirâmide ecológica (os decompositores não são incluídos nas pirâmides). Há três tipos de pirâmide: de número, de biomassa e de energia.

Pirâmide de número

A pirâmide de número indica a quantidade de organismos que ocupam cada nível trófico. Veja algumas dessas pirâmides na figura 14.6.

Como em cada nível da cadeia há perda da energia e da matéria disponíveis, apenas uma pequena fração da matéria e da energia chega aos últimos níveis. Isso explica porque, em algumas cadeias, o número de seres vivos mantidos por essa energia e por essa matéria diminui ao longo dos níveis tróficos. Por exemplo, milhares de pés de capim sustentam centenas de gafanhotos, que alimentam apenas dezenas de pássaros. No mar, grande número de algas microscópicas alimenta um número menor de pequenos crustáceos, que sustentam um número ainda menor de peixes.



Ilustrações: Casa de Tipos/Arquivo da editora

Figura 14.6 Pirâmide de número. A largura de cada retângulo é proporcional ao número de indivíduos (por metro quadrado) em cada nível trófico. (Os organismos ilustrados não estão na mesma escala: gafanhotos têm cerca de 1 cm a 8 cm; o tamanho dos pássaros varia de acordo com a espécie; cores fantasia.)

Em outros casos, como em uma cadeia com parasitas, ocorre o inverso. Basta pensar em uma árvore que sustenta vários pulgões, que são parasitados por grande número de protozoários. Nesse caso, forma-se uma pirâmide invertida, em que a base é menor que o ápice (figura 14.7).

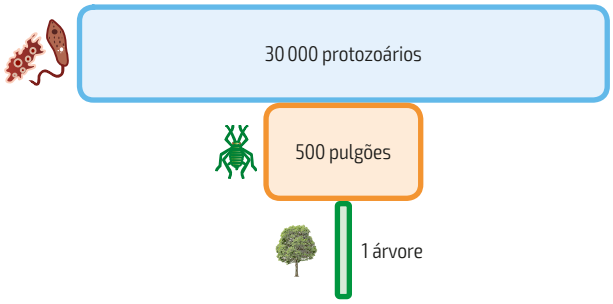


Figura 14.7 Pirâmide ecológica com aspecto invertido. (Os organismos ilustrados não estão na mesma escala: protozoários, por exemplo, são microscópicos; pulgões têm cerca de 2 mm de comprimento; cores fantasia.)

Há, ainda, casos em que a base e o ápice da pirâmide ecológica são estreitos. É o que acontece quando algumas poucas árvores fornecem alimento suficiente para sustentar grande número de insetos e estes sustentam um número menor de pássaros (figura 14.8).

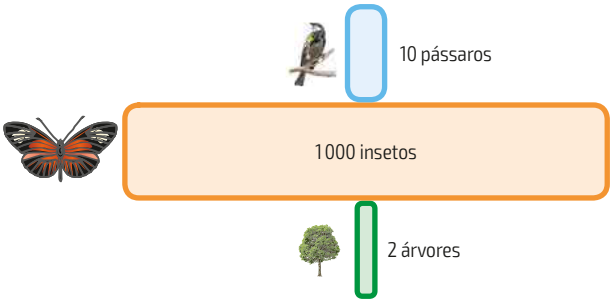


Figura 14.8 Pirâmide de número com ápice e base estreitos. (Os organismos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Pirâmide de biomassa

A quantidade de matéria orgânica presente no corpo dos seres vivos de determinado nível trófico, em determinado momento, é chamada **biomassa**. As plantas contêm 99% da biomassa terrestre. Com frequência, ela é expressa em peso seco (para descontar a água, que não é matéria orgânica) por unidade de área (g/m^2, por exemplo) ou de volume (g/m^3). Por causa da perda de matéria entre os níveis tróficos, em geral a biomassa diminui ao longo de uma cadeia.

Veja na **figura 14.9** um exemplo de pirâmide de biomassa, descrito pelo ecologista estadunidense Eugene Odum (1913-2002). Ele calculou que, durante um ano, cerca de 8 toneladas de alfafa sustentam 1 tonelada de bezerros e estes alimentam um adolescente de 47 kg no mesmo período.

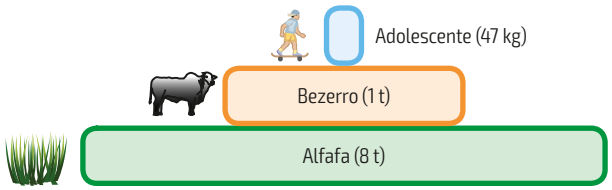


Figura 14.9 Pirâmide de biomassa. A largura de cada retângulo indica a quantidade de matéria orgânica, por hectare, em cada nível trófico em determinado momento. (Os organismos ilustrados não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Como não considera a passagem do tempo, em algumas situações essa pirâmide também pode apresentar aspecto invertido. Por exemplo, em dado momento, a biomassa de algas microscópicas (fitoplâncton) pode ser menor que a de consumidores primários (zooplâncton) (**figura 14.10**). Isso ocorre porque a medição da biomassa não considera a taxa de renovação da matéria orgânica. Se considerarmos um período de tempo, veremos que, ao longo de um ano, por exemplo, a quantidade média de zooplâncton foi menor que a de fitoplâncton, cuja velocidade de reprodução permite uma rápida renovação.

Ilustrações: Casa de Tipos/Arquivo da editora

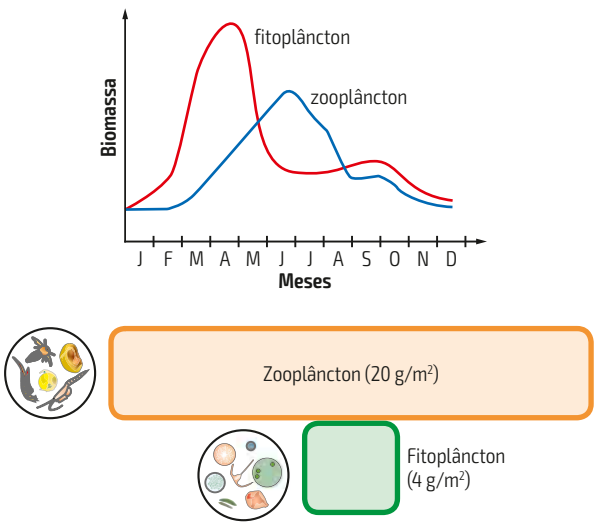


Figura 14.10 Observe no gráfico que, entre meados de maio e julho, a biomassa de zooplâncton era maior que a de fitoplâncton. Essa inversão ocorre por causa de mudanças na temperatura, na intensidade luminosa e nos nutrientes ao longo das estações do ano. (Os elementos da figura não estão na mesma escala: fitoplâncton e zooplâncton são microscópicos; cores fantasia).

Pirâmide de energia

Nesse caso, representamos em cada nível trófico a quantidade de energia acumulada por unidade de área ou de volume e por unidade de tempo (kcal/m²/ano ou kcal/m³/ano). Como considera o fator tempo, a pirâmide de energia indica a produtividade de um ecossistema, e, por isso, nunca fica invertida (**figura 14.11**).

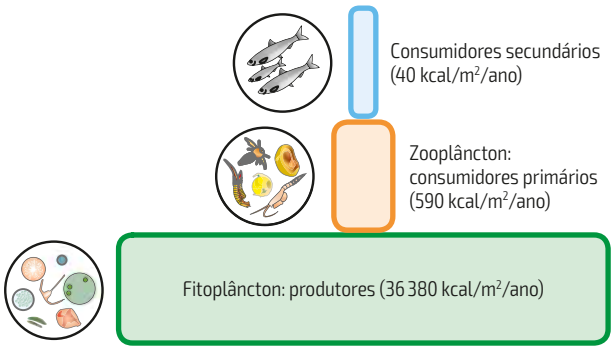


Figura 14.11 Exemplo de pirâmide de energia em um lago. (Os elementos da figura não estão na mesma escala: fitoplâncton e zooplâncton são microscópicos; cores fantasia.)

4 Poluição e desequilíbrio nas cadeias alimentares

Poluição é uma alteração no ambiente provocada pelo acréscimo de produtos que ameacem a saúde ou a sobrevivência de seres humanos ou de outros seres vivos.

Como acabamos de ver, toda espécie faz parte de uma teia alimentar e sua extinção pode provocar desequilíbrios ecológicos e até mesmo o desaparecimento de outras espécies. Se pássaros, aranhas e outros animais que comem insetos herbívoros forem eliminados, por exemplo, esses insetos poderão se multiplicar e destruir plantações.

Para combater insetos e outros organismos que se alimentam de plantas, é comum o uso de agrotóxicos, também chamados pesticidas ou defensivos agrícolas. Contra insetos, por exemplo, usam-se inseticidas; contra fungos, fungicidas; e assim por diante. Muitos inseticidas não são específicos e afetam também outros organismos. Além de destruírem os insetos perniciosos, afetam aqueles que transportam o pólen (e são, portanto, essenciais para a reprodução

de certas plantas) e diversos outros que se alimentam das espécies perniciosas. Além disso, como vimos no início deste volume, é possível que se desenvolva uma geração de insetos resistentes ao veneno. Livres de seus inimigos naturais, esses insetos poderão se proliferar mais rapidamente.

Magnificação trófica

A matéria orgânica presente no esgoto doméstico pode ser decomposta por microrganismos, como as bactérias. Dizemos que ela é **biodegradável** (do grego *bios* = vida; do latim *de* = retirada, *gradus* = grau).

Um dos problemas ambientais mais sérios é o acúmulo de substâncias tóxicas no ambiente. Muitos desses produtos não podem ser decompostos pelas bactérias e pelos fungos, e são chamados **não biodegradáveis**. Ou então, eles demoram dezenas ou centenas de anos para se decompor, sendo, por isso, também chamados **poluentes persistentes** ou **conservativos**.

Muitos desses poluentes, uma vez absorvidos por um organismo, demoram muito tempo para serem eliminados e se acumulam até atingir concentrações muito nocivas, podendo provocar doenças e até a morte. É o caso de metais como o mercúrio e o chumbo, ou mesmo de substâncias orgânicas (em geral sintéticas), como o inseticida DDT (letras tiradas do nome diclorodifeniltricloroetano).

Por causa da redução da biomassa na passagem de um nível trófico para outro, a concentração do produto tóxico aumenta nos organismos ao longo da cadeia alimentar, e os organismos dos últimos níveis tróficos acabam absorvendo doses altas dessas substâncias prejudiciais à saúde. Esse fenômeno é conhecido como **magnificação trófica**, **biomagnificação** ou **amplificação biológica**.

Um caso trágico de intoxicação por mercúrio ocorreu no Japão, quando uma indústria, instalada em 1932, começou a despejar mercúrio nas águas da baía de Minamata. O mercúrio foi transformado por bactérias em um composto orgânico chamado metilmercúrio. O metilmercúrio foi absorvido pelo plâncton e, através da cadeia alimentar, atingiu os peixes e moluscos, que serviam de alimento para a população local.

Por volta de 1950, começaram a aparecer os problemas decorrentes do depósito de mercúrio no sistema nervoso, no fígado e nos rins, causando a morte de cerca de mil pessoas, no desastre que ficou conhecido como doença de Minamata.

Biologia e ambiente

O perigo do mercúrio

Em certas regiões do Brasil, principalmente na Amazônia, os garimpeiros usam o mercúrio para separar o ouro das impurezas (figura 14.12) (essa é uma técnica de separação de misturas estudada em Química). Eles misturam esses dois metais para formar uma liga, o amálgama. Aquecendo-a, o mercúrio é vaporizado e resta o ouro puro. Nesse processo, o garimpeiro pode se contaminar ao inalar os vapores tóxicos do mercúrio. Além disso, parte desse metal contamina o solo e as águas na forma de metilmercúrio (o metil é o radical $-CH_3$, estudado em Química orgânica), que é ingerido por peixes e outros animais silvestres.

Por isso é necessário investir em projetos de monitoramento da concentração local de mercúrio, usar equipamentos para recuperar o mercúrio vaporizado, evitar que o mercúrio escape no ambiente e descartar os resíduos em depósitos autorizados. É preciso também conscientizar os garimpeiros sobre o assunto, além de estimular o uso de luvas e a realização periódica de exames médicos.

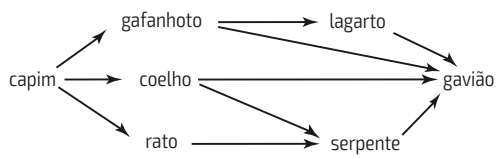
Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 14.12 Monumento ao Garimpeiro na praça do Centro Cívico em Boa Vista, RR. Foto de 2014.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Em seu caderno, classifique os organismos abaixo de acordo com sua posição na teia. Lembre-se de que alguns seres podem ter mais de uma classificação.



2. Veja uma das cadeias alimentares do ambiente polar:

fitoplâncton → zooplâncton → peixes →
→ focas → ursos-polares

Sabendo que houve contaminação desse ambiente por um poluente não biodegradável, responda: com o tempo, espera-se que a maior concentração do poluente acabe sendo encontrada em qual dos componentes da cadeia? Justifique sua resposta.

3. Quando o ser humano come arroz, que tipo de consumidor ele está representando na cadeia alimentar? E quando come um bife de carne de boi?

4. Você aprendeu que a quantidade de energia diminui ao longo da cadeia, pois parte dessa energia se perde na forma de calor. Explique, então, por que a energia de um ecossistema não acaba.

5. Um agricultor utilizou um agrotóxico persistente para eliminar insetos que atacavam sua plantação de algodão. Como você explica a presença desse agrotóxico no organismo de algumas espécies de aves, já que essas aves não comem plantas de algodão?

6. (UFPB) A cadeia alimentar a seguir é encontrada em um determinado lago:

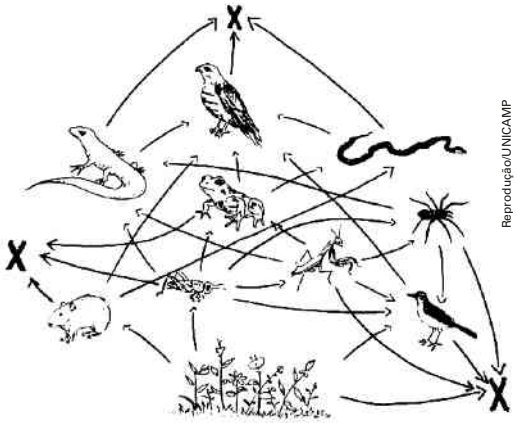
algas → microcrustáceos → besouros aquáticos

Supondo que o lago seja utilizado como criadouro de peixes e que estes se alimentem dos besouros, a população de algas pode ser prejudicada? Justifique sua resposta.

7. (Fuvest-SP) O homem estará ocupando o nível trófico em que há maior aproveitamento de energia fixada pelos produtores quando escolher como cardápio:

a) carne com creme de leite.
b) peixe com camarão.
c) frango com toucinho.
X d) pão com geleia de frutas.
e) ovos com queijo.

8. (Unicamp-SP) A figura abaixo representa relações existentes entre organismos vivos.



Reprodução/UNICAMP

a) O que é representado na figura? Que tipo de organismo é representado por **X**?
b) Qual seria a consequência do desaparecimento das aves mostradas na figura acima? Qual seria a consequência do desaparecimento das plantas mostradas na figura acima?

9. (Vunesp-SP) A tabela mostra um exemplo de transferência de energia em um ecossistema, do qual se considerou uma cadeia alimentar de predadores.

Níveis tróficos	**Quantidade de energia** (kcal/m³/ano)		
	Total assimilado pelos organismos	**Quantidade disponível para os níveis tróficos seguintes**	**Diferença**
Produtores	21 000	9 000	12 000
Consumidores primários	11 000	4 800	6 200
Consumidores secundários	3 500	1 500	2 000
Consumidores terciários	500	100	400

Baseando-se nos dados da tabela, responda:

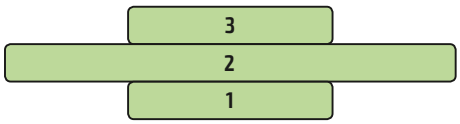
a) A que corresponde a quantidade de energia discriminada na coluna Diferença?
b) Dificilmente essa cadeia alimentar, cujo fluxo de energia está representado na tabela, apresentará consumidores quaternários. Por quê?

10. (Ufal) O mercúrio é um metal pesado que, acima de determinadas concentrações, é tóxico ao sistema nervoso central. Em regiões de garimpo de ouro na Amazônia, o mercúrio entra nas cadeias alimentares dos peixes. A tabela abaixo apresenta os hábitos alimentares dos peixes da região.

Peixe	Alimentação
tucunaré	peixe, camarão
traíra	peixe
pacu	frutas, plantas
piaba	frutas, inseto

Qual deles é mais aconselhado para a alimentação humana? Justifique sua resposta.

11. (Unifesp) As pirâmides ecológicas são utilizadas para representar os diferentes níveis tróficos de um ecossistema e podem ser de três tipos: número de indivíduos, biomassa ou energia. Elas são lidas de baixo para cima e o tamanho dos retângulos é proporcional à quantidade que expressam.
Considere uma pirâmide com a seguinte estrutura:



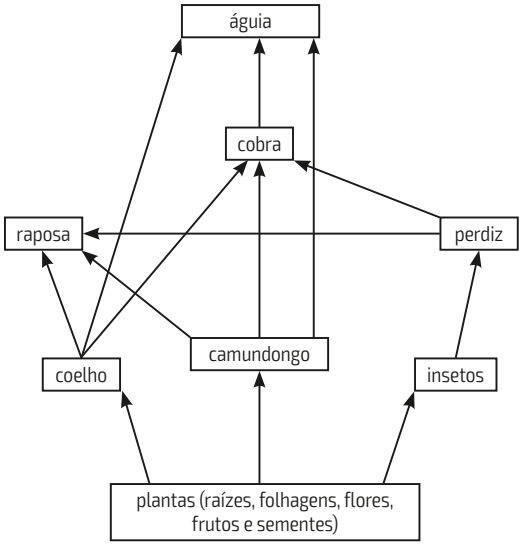
a) Que tipo de pirâmide, entre os três tipos citados no texto, não poderia ser representada por essa estrutura? Por quê?
b) Dê um exemplo de uma pirâmide que pode ser representada pela estrutura indicada. Substitua **1**, **2** e **3** por dados quantitativos e qualitativos que justifiquem essa estrutura de pirâmide.

12. (UFC-CE) Em um pequeno experimento, um estudante montou algumas hortas contendo terra, folhas secas e madeira morta. Nestes locais ele plantou várias hortaliças. Com o passar do tempo, o estudante percebeu que pequenos cogumelos apareciam na madeira morta e nas folhas secas que estavam depositadas no chão. Temendo que isso pudesse matar as plantas, ele adicionou fungicida na horta matando apenas os fungos. Ao fazer isso, que consequência ocorrerá para as hortaliças?
a) A quantidade de herbívoros que se alimentam das hortaliças aumentará.
X b) A disponibilidade de nutrientes para as hortaliças será menor.
c) A umidade do solo onde as hortaliças ocorrem reduzirá.
d) As folhas das hortaliças crescerão mais rapidamente.
e) As hortaliças adquirirão resistência a fungos.

13. (Unirio-RJ) As pirâmides ecológicas podem ser de número, de biomassa ou de energia.

Observando as pirâmides simplificadas representadas acima, podemos concluir que:
a) as três formas podem representar qualquer tipo de pirâmide, dependendo apenas das populações consideradas.
X b) somente a pirâmide **I** pode ser de energia porque, levando em conta o tempo, sua forma não pode se apresentar invertida.
c) a pirâmide **II** não pode ser de biomassa porque ocorre grande perda na transferência de um nível trófico para outro.
d) a pirâmide **III** poderia ser uma pirâmide de número cujos níveis tróficos seriam grama / zebras / carrapatos.
e) o nível trófico correspondente aos produtores é representado pelo retângulo de maior área, em quaisquer das três pirâmides.

14. (UFG-GO) Analise o diagrama a seguir.



A teia alimentar representada evidencia as relações interespecíficas de uma comunidade que ocorre em vários ecossistemas. No caso da retirada dos consumidores secundários, espera-se inicialmente que a população de:
a) consumidores primários diminua.
b) consumidores terciários aumente.
X c) produtores diminua.
d) consumidores quaternários aumente.
e) decompositores diminua.

15. (Fuvest-SP) Em relação ao fluxo de energia na biosfera, considere que

- **A** representa a energia captada pelos produtores;
- **B** representa a energia liberada (perdida) pelos seres vivos;
- **C** representa a energia retida (incorporada) pelos seres vivos.

A relação entre **A**, **B** e **C** na biosfera está representada em:

a) **A** < **B** < **C**
b) **A** < **C** < **B**
c) **A** = **B** = **C**
X d) **A** = **B** + **C**
e) **A** + **C** = **B**

16. (Fuvest-SP) Num determinado lago, a quantidade dos organismos do fitoplâncton é controlada por um crustáceo do gênero *Artemia*, presente no zooplâncton. Graças a esse equilíbrio, a água permanece transparente. Depois de um ano muito chuvoso, a salinidade do lago diminuiu, o que permitiu o crescimento do número de insetos do gênero *Trichocorixa*, predadores de *Artemia*. A transparência da água do lago diminuiu.

Considere as afirmações:

I. A predação provocou o aumento da população dos produtores.
II. A predação provocou a diminuição da população dos consumidores secundários.
III. A predação provocou a diminuição da população dos consumidores primários.

Está correto o que se afirma apenas em

a) I.
b) II.
c) III.
X d) I e III.
e) II e III.

17. (UFRN) A tirinha abaixo apresenta um exemplo de cadeia alimentar.

© Joaquín Salvador Lavado (Quino)/Acervo do cartunista.

A respeito dessa cadeia alimentar, é correto afirmar:

a) Os fluxos de matéria e de energia variam de acordo com o tamanho do consumidor, por isso, quanto maior o tamanho do consumidor, maiores serão as quantidades de matéria e de energia nele presentes.
b) As quantidades de matéria e energia presentes em um nível trófico são sempre menores que aquelas presentes no nível trófico seguinte.
c) A energia e a matéria são conservadas ao longo da cadeia alimentar, e seus valores são equivalentes em cada um dos níveis tróficos representados.
X d) Parte da matéria e parte da energia do alimento saem da cadeia alimentar na forma de fezes, urina, gás carbônico, água e calor, e, por isso, elas são menores no homem.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas para pesquisa.

a) Pesquisem na internet os nomes e as fórmulas dos principais componentes dos plásticos mais comuns em nosso dia a dia. Expliquem também os problemas ambientais que o descarte de plásticos pode causar e que medidas podem ser tomadas para minimizar esses problemas. Se possível, peçam auxílio ao professor de Química.

b) Pesquisem a história e a influência social e ambiental da bióloga Rachel Carson (1907-1964) e de seu livro *Primavera silenciosa* (São Paulo: Melhoramentos, 1964). Se possível, peçam o auxílio dos professores de História, Sociologia e Filosofia.

CAPÍTULO 15

Populações

Rich Lindie/Shutterstock/Glow Images

Agrupamento de pinguins-reis (*Aptenodytes patagonicus*; cerca de 90 cm de altura).

Na foto vemos uma população de pinguins-reis na Geórgia do Sul, na Antártida. Nessa região, na época de reprodução, podem ser encontrados mais de cem mil pinguins. Mas quantos pinguins podem sobreviver em uma dada região? Qual é o número máximo de seres humanos que podem habitar o planeta? O estudo das populações procura responder a essa e a outras perguntas, como veremos neste capítulo.

- *Que fatores influenciam o crescimento das populações?*
- *Você sabe o que é o censo? Por que essa pesquisa é tão importante para conhecer a população do Brasil?*
- *Você sabe o que significa a expressão "densidade populacional"?*

1 Crescimento das populações

Para estudar uma população, é necessário conhecer certos conceitos, como o de **densidade de população** ou **densidade populacional** (**D**). Ela pode ser definida como o número de indivíduos (**N**) por unidade de área (**S**), no caso de espécies terrestres, ou por unidade de volume (**V**), para espécies aquáticas:

$$D = \frac{N}{S} \text{ (espécies terrestres) ou}$$

$$D = \frac{N}{V} \text{ (espécies aquáticas)}$$

Por exemplo, em 2014 a densidade de população no Brasil era de 23,8 habitantes/km^2.

A densidade de uma população é afetada por quatro taxas:

- **natalidade** – número de indivíduos que nascem por unidade de tempo;
- **mortalidade** – número de indivíduos que morrem por unidade de tempo;
- **imigração** – número de indivíduos que entram na população vindos de outras áreas;
- **emigração** – número de indivíduos que saem da população.

As taxas de natalidade e de imigração tendem a aumentar a densidade; as de mortalidade e de emigração tendem a diminuí-la. O equilíbrio pode ser atingido pela diminuição da taxa de natalidade ou de imigração ou pelo aumento da taxa de mortalidade ou de emigração.

Para saber se uma população está aumentando ou diminuindo, é comum utilizar o chamado **índice de crescimento**, que é a razão entre a taxa de natalidade e a de mortalidade. Um índice de crescimento maior que 1 indica que a população está aumentando e um índice menor que 1, que está diminuindo.

Cálculo do tamanho das populações

Um dos métodos para calcular o tamanho de uma população consiste em capturar um certo número de indivíduos e colocar alguma marca que não cause nenhum prejuízo. Pode ser uma pequena marca de tinta na asa de uma mariposa ou um anel na perna de um pássaro, por exemplo.

Os indivíduos marcados são soltos na área em que foram encontrados e, passado algum tempo – um tempo suficiente para eles se misturarem à população original –, uma nova amostra é capturada. Esse método é conhecido como método da marcação-soltura-recaptura.

Suponhamos que foram soltas 100 mariposas marcadas e alguns dias depois foram capturadas 120 mariposas, das quais 20 possuíam a marca. Uma estimativa do tamanho dessa população pode ser feita com um processo matemático simples, uma regra de três:

$$\begin{array}{ccc} 20 & _____ & 120 \\ 100 & _____ & x \end{array}$$

$$x = 100 \times \frac{120}{20} = 600$$

A população dessa área deve ser de cerca de 600 mariposas.

Esse é um cálculo aproximado. Há outras formas de cálculo, com o uso de ferramentas estatísticas mais sofisticadas, que aumentam a precisão do resultado. A Estatística é estudada em Matemática. Outra forma de aprimorar os cálculos é fazer mais de uma amostragem.

Observe que há várias pressuposições que têm de ser verdadeiras para que o cálculo esteja correto, tais como: os indivíduos marcados não foram afetados pela marcação, eles se misturam de modo uniforme na população, eles têm a mesma chance de ser capturados que os não marcados, não houve migração, nenhuma marcação caiu ou sumiu do animal, a probabilidade de se capturar o indivíduo marcado é a mesma que capturar o não marcado, etc.

Esse exemplo ilustra o fato de que experimentos e observações científicas possuem sempre uma margem de erro e podem ser questionados, corrigidos e melhorados. Nesse caso, poderiam ser feitas observações prévias para verificar se está havendo migração ou se a sobrevivência de indivíduos marcados é afetada pela marcação, entre outros dados.

Estudo em laboratório

As populações formam-se e crescem graças à sua capacidade de reprodução. Se não houvesse obstáculo a esse crescimento, o número de indivíduos aumentaria de forma exponencial, ou seja, em progressão geométrica (em Matemática, progressão geométrica é uma sequência de números em que cada termo a partir do segundo é igual ao anterior multiplicado por uma constante denominada razão. Nesse exemplo, a razão é o número 2). Por exemplo, em condições ideais, algumas espécies de bactérias reproduzem-se a cada 20 minutos (figura 15.1). Se esse ritmo fosse mantido, em 15 horas haveria, a partir de uma única bactéria, uma população com mais de 1 bilhão de indivíduos, em 24 horas haveria 5×10^{21} bactérias e, em 36 horas, a Terra toda ficaria coberta por uma camada de bactérias.

Mas esse ritmo de crescimento não se mantém por muito tempo. Diversos fatores impedem que a população continue aumentando em progressão geométrica, levando-a a atingir o equilíbrio: a quantidade de alimento, o espaço disponível, a influência de predadores e parasitas, a competição com outras populações pelos mesmos recursos, etc.

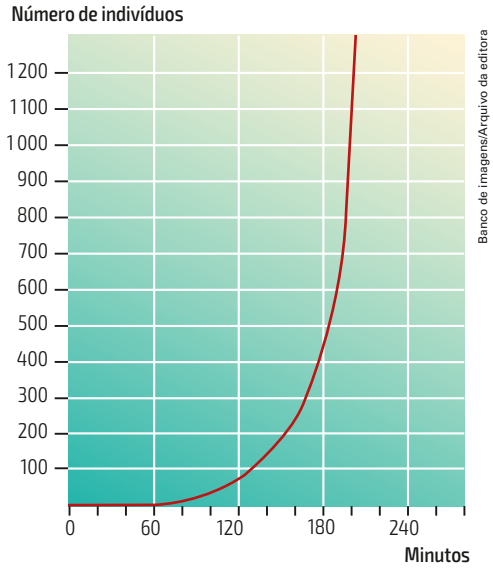


Figura 15.1 Curva de crescimento exponencial de uma população de bactérias em condições ideais.

Chamamos **potencial biótico** ou **reprodutivo** a capacidade de uma população crescer em condições ideais (de espaço, alimento, temperatura, etc.) e longe da influência de predadores, parasitas e competidores. **Resistência ambiental** é o nome dado ao conjunto de fatores que se opõem a esse crescimento; ela pode ser indicada pela diferença entre o crescimento máximo possível (o potencial biótico) e o crescimento real da população nas condições naturais.

Vários cientistas estudaram populações de microrganismos em laboratório e observaram que, no início, o número de indivíduos crescia de forma exponencial. Depois, a partir de certo ponto, a velocidade de crescimento diminuía até a população parar de crescer, e o número de indivíduos permanecia aproximadamente constante (figura 15.2).

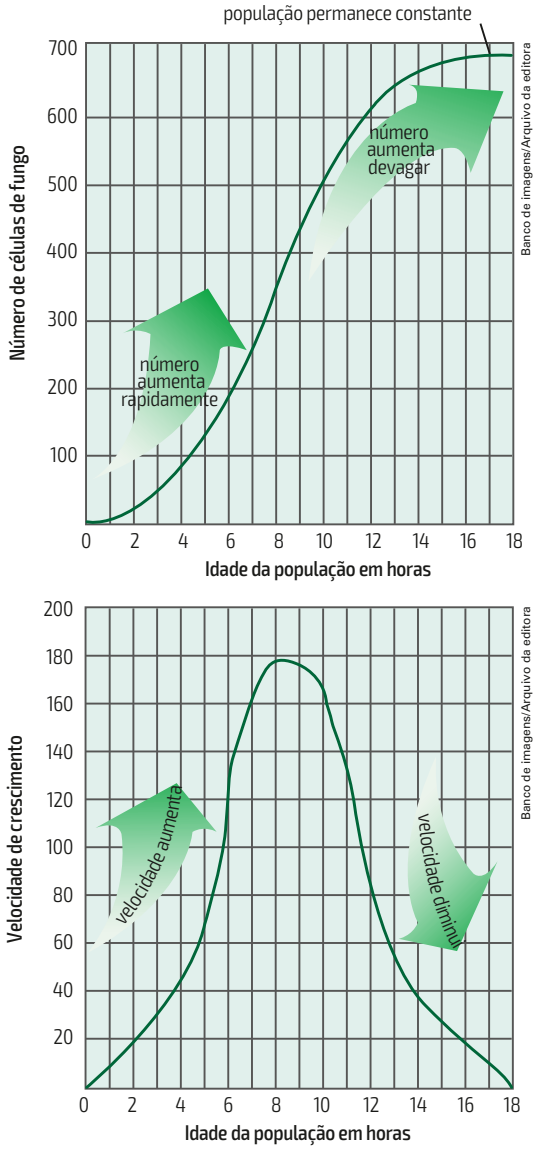


Figura 15.2 Curvas de crescimento de uma população de fungos em laboratório.

O gráfico do número de indivíduos em função do tempo em uma situação na qual os recursos são limitados é chamado **curva em S**, **curva sigmoide** (da letra grega sigma) ou **curva logística**. Ele indica que as populações que estão em baixas densidades crescem inicialmente com velocidade cada vez maior (o que caracteriza o crescimento exponencial): a população está crescendo de acordo com o seu potencial biótico. À medida que a população aumenta, a resistência ambiental começa a interferir e a frear a velocidade de crescimento. A população continua a crescer, mas a uma velocidade cada vez menor. Quando a resistência do meio se equilibra com o potencial biótico, a população para de crescer (velocidade de crescimento nula) e se estabiliza (o número de indivíduos permanece constante).

Conclui-se então que há uma densidade máxima de indivíduos, chamada **capacidade de sustentação**, **capacidade de suporte** ou **carga biótica máxima**, que determinado ambiente pode sustentar. A partir daí a população permanece mais ou menos constante, flutuando em torno desse valor. Essa flutuação acontece porque os fatores da resistência ambiental variam ao longo do tempo.

Estudos na natureza

Em alguns casos, o número de predadores e o de presas oscilam ao longo do tempo. Quando o número de presas aumenta, os predadores conseguem mais comida e seu número também cresce. Esse aumento provoca o crescimento da mortalidade das presas, que diminuem de número. Com isso, por causa da escassez de alimento, o número de predadores também diminui e volta ao ponto inicial.

O predador não é o único fator que influi nas oscilações periódicas dessas populações. No caso das populações de lebres e linces do Canadá, a queda no número de lebres (presa) deve-se ao aumento do número de linces e à diminuição na quantidade e na qualidade das plantas que lhes servem de alimento, fazendo com que muitos indivíduos morram. Além disso, com a perda de peso, pela falta de alimento, as lebres ficam mais vulneráveis à predação dos linces. A ação combinada da falta de alimento e da predação reduz o número de lebres, o que faz a população de linces diminuir e permite que a população de plantas se recupere. O ciclo recomeça com o aumento do número de lebres e de linces (figura 15.3).

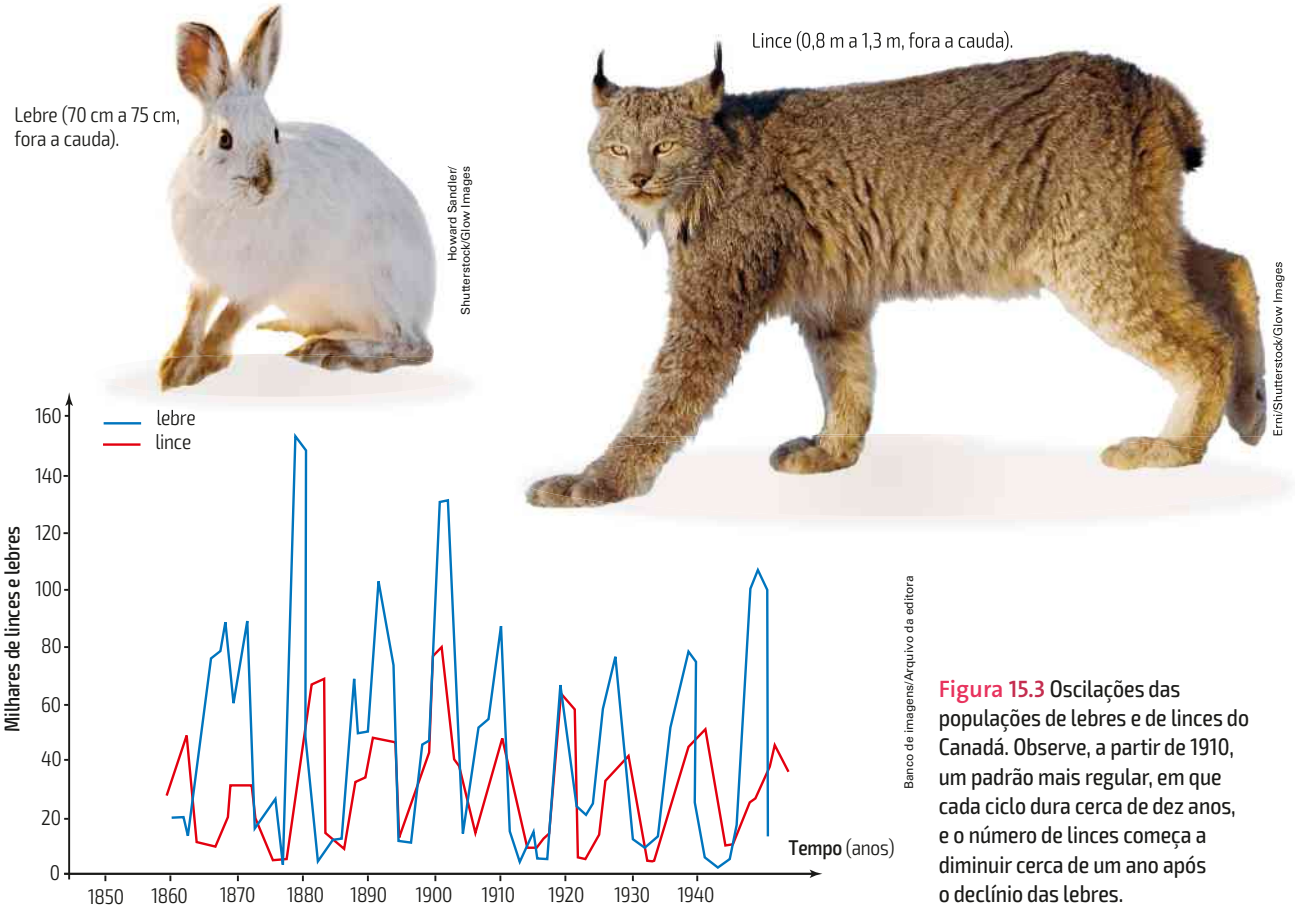


Figura 15.3 Oscilações das populações de lebres e de linces do Canadá. Observe, a partir de 1910, um padrão mais regular, em que cada ciclo dura cerca de dez anos, e o número de linces começa a diminuir cerca de um ano após o declínio das lebres.

2 Crescimento da população humana

O aperfeiçoamento das técnicas de produção e conservação de alimentos e o controle de muitas doenças pela Medicina, pelo saneamento e pela vacinação propiciaram aumento na média de vida, queda na taxa de mortalidade e crescimento exponencial da população humana, chamado **explosão demográfica**, tema estudado também em Geografia e História, entre outras disciplinas (figura 15.4).

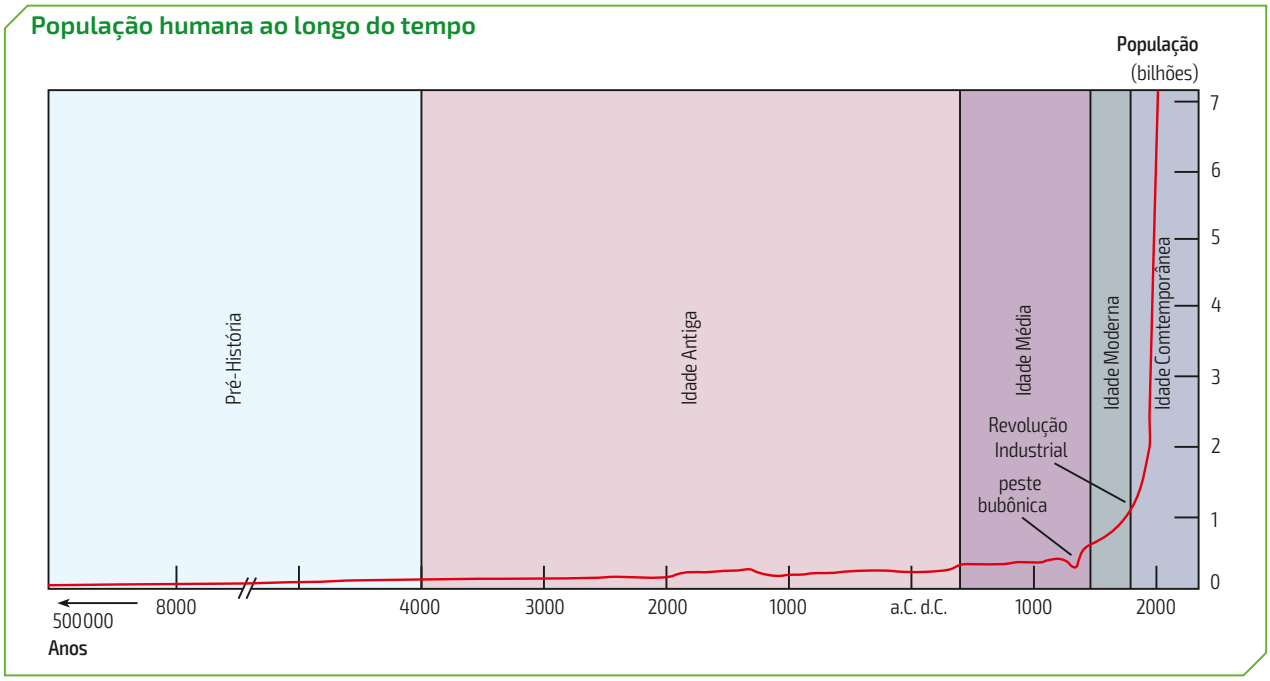
Há 2 mil anos, a população mundial era de cerca de 300 milhões de pessoas. Em 1800, chegou a 1 bilhão; em 1927, atingiu 2 bilhões; foi para 3 bilhões em 1959, 5 bilhões em 1987 e 7,3 bilhões em 2015.

Devemos nos lembrar de que um ambiente – e até o planeta inteiro – possui uma capacidade de suporte. Isso significa que há um número máximo de indivíduos de uma espécie que podem ser sustentados pelo ambiente sem comprometer a capacidade futura de suporte desse ambiente. Em outras palavras, sem causar degradação ambiental, utilizando os recursos naturais de modo a garantir a sustentabilidade para as futuras gerações. Essa capacidade vai depender da qualidade de vida que as pessoas desejam. E essa não é apenas uma questão científica, mas uma questão sobre valores humanos, que deve, portanto, ser decidida por toda a sociedade.

Embora a maioria dos cientistas concorde que é necessário desacelerar o crescimento populacional, de forma a estabilizar a população em um ponto compatível com os recursos do planeta, a superpopulação não pode ser apontada como a única causa da fome, da miséria e da degradação ambiental. O uso inadequado do solo e dos recursos hídricos – por causa da ignorância ou da busca de lucro rápido, sem a preocupação com a manutenção do equilíbrio ecológico –, a má distribuição de renda e os hábitos de consumo das nações ricas são também questões importantes, que precisam ser resolvidas para que se possa garantir um padrão de vida adequado a todos os habitantes do planeta.

No início de 2016, havia cerca de 7,4 bilhões de habitantes na Terra. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial deverá chegar a cerca de 9,3 bilhões em 2050. A taxa de crescimento, porém, vem diminuindo nas últimas décadas e deve cair de 1,13% (taxa atual) para 0,33%. Isso acontece principalmente por causa da redução da taxa de fecundidade (uma estimativa do número médio de filhos que uma mulher tem até o fim de seu período reprodutivo).

A elevação da qualidade de vida contribui para a conscientização da necessidade de um controle voluntário da natalidade, além de criar condições econômicas para realizar esse controle. Informação e assistência médica corretas possibilitarão aos casais o direito de decidir quando ter filhos.



Banco de imagens/Arquivo da editora

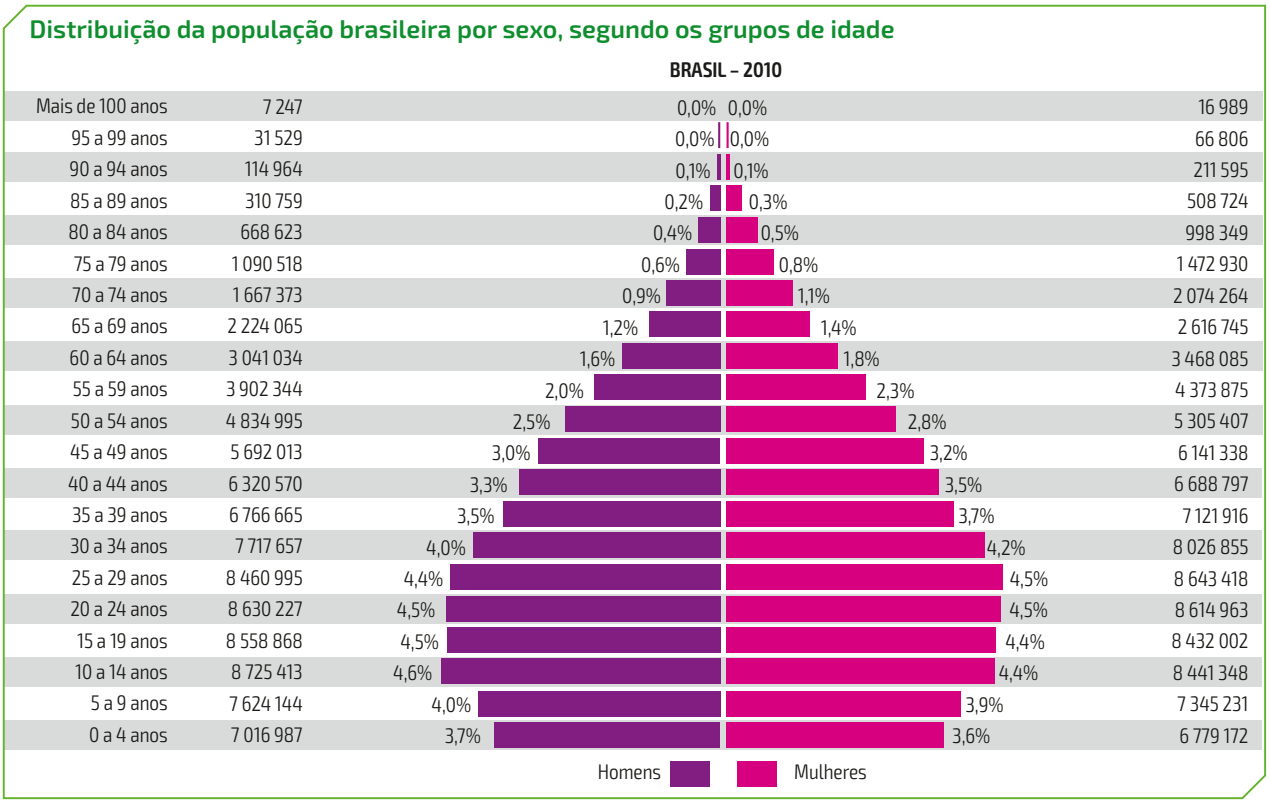
Figura 15.4 Observe o crescimento exponencial da população humana a partir da Revolução Industrial.

Pirâmides de idades

As pirâmides etárias ou de idades são gráficos que indicam as proporções das diferentes faixas de idade na população e a proporção dos sexos. Elas são muito estudadas em Demografia, uma área da Geografia, e são importantes para o planejamento socioeconômico de uma nação. Veja a pirâmide etária do Brasil em 2010 (figura 15.5).

Nas regiões em desenvolvimento, é comum haver uma taxa de natalidade maior e uma expectativa de vida ao nascer menor que nas regiões desenvolvidas (a expectativa de vida ao nascer é o número de anos que se calcula que um recém-nascido pode viver, caso as taxas de mortalidade do local onde vive, no ano de seu nascimento, permaneçam as mesmas ao longo de sua vida). Por isso, as pirâmides das regiões em desenvolvimento costumam ter a base mais larga e o topo mais estreito, o que indica grande número de jovens e baixa proporção de idosos (figura 15.6).

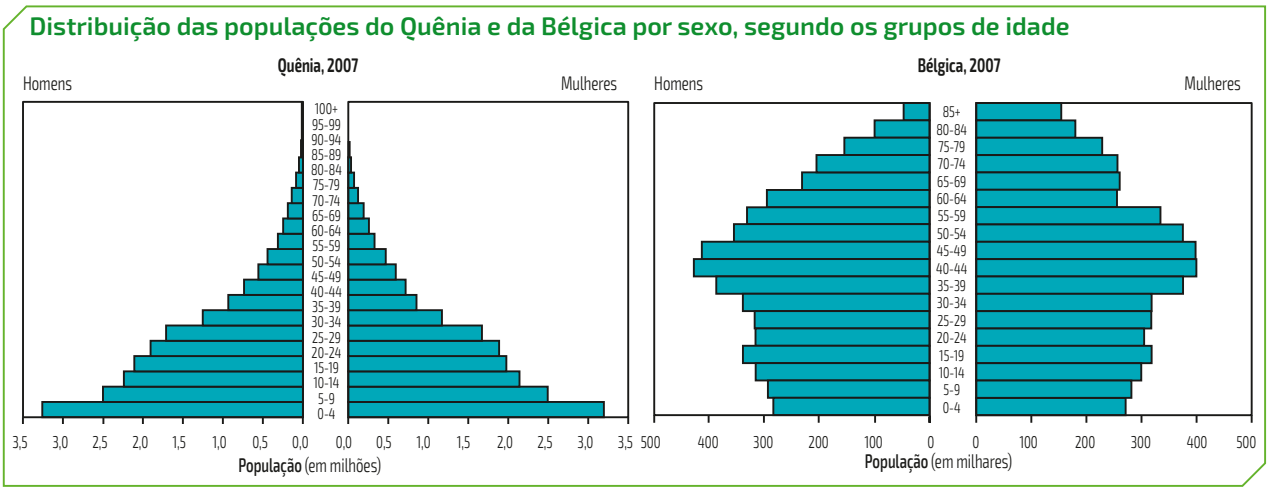
Banco de imagens/Arquivo da editora



Fonte: IBGE, Censo de 2010. Disponível em: <http://vamoscontar.ibge.gov.br/atividades/ensino-fundamental-6-ao-9/49-piramide-etaria.html>. Acesso em: 6 jan. 2016.

Figura 15.5 Pirâmide etária brasileira.

Banco de imagens/Arquivo da editora



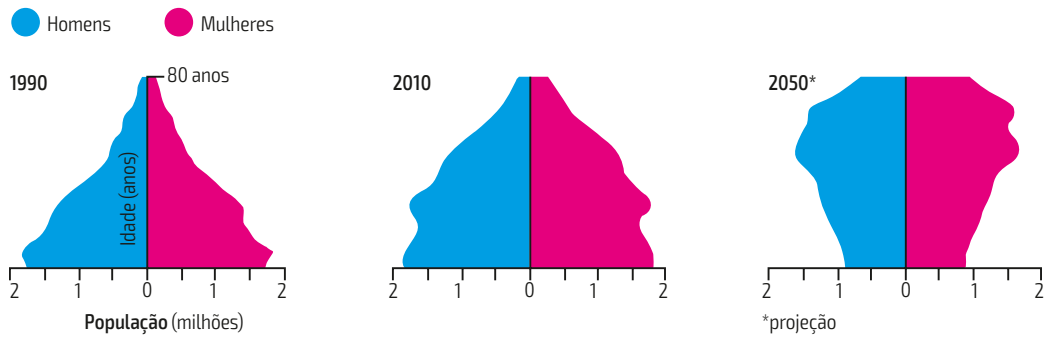
Fonte: U.S. Census Bureau, International Database.

Figura 15.6 Pirâmide etária de país em desenvolvimento (Quênia) e de país desenvolvido (Bélgica).

São populações predominantemente jovens, que tendem a um crescimento rápido por causa da grande proporção de jovens que poderão ter filhos nos próximos anos. No extremo oposto, há países com taxa de natalidade muito baixa e expectativa de vida elevada. Nesse caso, a pirâmide tem uma base mais estreita, o que indica grande número de idosos e baixa proporção de jovens. São populações maduras, com baixo crescimento e tendência a se estabilizar ou até declinar (figura 15.6).

Embora o Brasil ainda seja um país com a maioria da população jovem, a proporção de adultos e idosos vem crescendo: passou de 4,7% da população em 1960 para 10,8% em 2010. As projeções indicam que em 2050 o número de pessoas com até 14 anos será o mesmo de pessoas com mais de 60 anos (figura 15.7). Essa mudança está ligada ao aumento na expectativa de vida e à queda na taxa de fecundidade. Na década de 1940, a expectativa de vida no Brasil não ultrapassava os 46 anos, enquanto ao final da década de 2000 a expectativa do brasileiro era de cerca de 73 anos. Em 2000, cada mulher tinha em média 2,38 filhos; em 2010, esse número passou para 1,9 filho. Essa taxa é inferior à taxa mínima para a reposição populacional, que é de 2,1 filhos (as duas crianças substituem os pais e a fração 0,1 compensa indivíduos que morrem sem se reproduzir). Algumas projeções indicam que a população deve continuar a crescer até por volta dos anos 2030; depois, deve estacionar ou até diminuir.

Distribuição da população brasileira por sexo e idade



Banco de imagens/Arquivo da editora

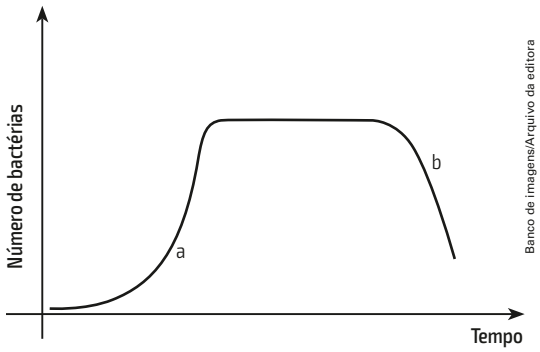
Figura 15.7 Evolução da pirâmide etária brasileira.

Fontes: *Almanaque Abril*, 2012. Dinâmica Demográfica e Mortalidade no Brasil, 1998-2008; IBGE/Censo de 2010.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Bactérias foram cultivadas em um frasco fechado com um meio nutritivo. Não houve reposição de nutrientes. O gráfico abaixo indica o número de bactérias ao longo do tempo. Explique o que ocorreu com a população de bactérias em cada trecho indicado. Que fatores podem estar influenciando o crescimento em cada trecho da curva?



Banco de imagens/Arquivo da editora

2. A taxa de mortalidade da população humana diminuiu a partir do século XIX. Que fatores provocaram essa queda na mortalidade?

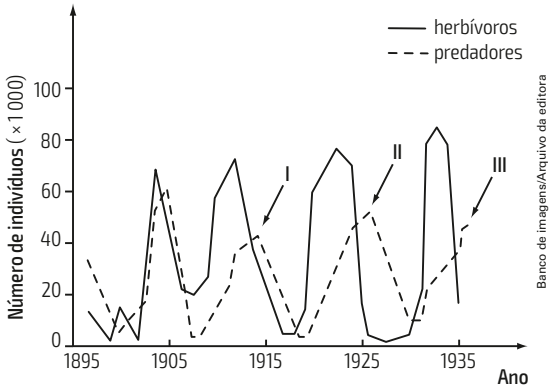
3. Imagine que o número de uma população de herbívoros aumente muito. O que pode ocorrer com a quantidade de plantas que servem de alimento para eles? Que consequências isso pode ter para o número de herbívoros? E para o número de predadores dos herbívoros?

4. Critique as afirmativas abaixo:

a) Crescimento econômico representa automaticamente melhoria nas condições de vida de uma população.

b) A cultura e a tecnologia não podem influenciar o crescimento populacional humano, fenômeno puramente biológico.

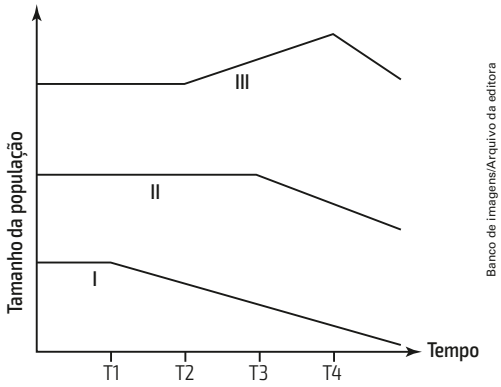
5. (Fuvest-SP) O gráfico a seguir representa o crescimento de uma população de herbívoros e da população de seus predadores:



a) Pela análise do gráfico, como se explica o elevado número de predadores nos pontos **I**, **II** e **III**? Justifique sua resposta.

b) Se, a partir de 1935, os predadores tivessem sido retirados da região, o que se esperaria que acontecesse com a população de herbívoros? Justifique sua resposta.

6. (UFC-CE) No gráfico abaixo, está representada a variação no tamanho das populações de três organismos, ao longo de um período de tempo. As populações são de um herbívoro, da planta que lhe serve de alimento e de seu predador. Em determinado momento, a população de predadores começou a declinar devido a uma doença, o que refletiu no tamanho das duas outras populações.



a) Quais populações estão representadas pela linha **II** e pela linha **III**?

b) O que provocou a mudança de trajetória da linha **III** no tempo T2?

c) O que provocou a mudança de trajetória da linha **II** no tempo T3?

d) O que provocou a mudança de trajetória da linha **III** no tempo T4?

7. (Enem) O quadro abaixo mostra a taxa de crescimento natural da população brasileira no século XX.

Período	Taxa anual média de crescimento natural (%)
1920-1940	1,90
1940-1950	2,40
1950-1960	2,99
1960-1970	2,89
1970-1980	2,48
1980-1991	1,93
1991-2000	1,64

Fonte: IBGE. Anuários Estatísticos do Brasil.

Analisando os dados, podemos caracterizar o período entre:

a) 1920 e 1960 como de crescimento do planejamento familiar.

X b) 1950 e 1970 como de nítida explosão demográfica.

c) 1960 e 1980 como de crescimento da taxa de fertilidade.

d) 1970 e 1990 como de decréscimo da densidade demográfica.

e) 1980 e 2000 como de estabilização do crescimento demográfico.

8. (Enem) Ainda com base na tabela da questão anterior, é correto afirmar que a população brasileira:

X a) apresentou crescimento percentual menor nas últimas décadas.

b) apresentou crescimento percentual maior nas últimas décadas.

c) decresceu em valores absolutos nas cinco últimas décadas.

d) apresentou apenas uma pequena queda entre 1950 e 1980.

e) permaneceu praticamente inalterada desde 1950.

9. (Enem) Ao longo do século XX a taxa de variação na população do Brasil foi positiva (crescimento). Essa taxa leva em consideração o número de nascimentos (N), o número de mortes (M), o de emigrantes (E) e o de imigrantes (I) por unidade de tempo. É correto afirmar que, no século XX:

a) $M > I + E + N$.

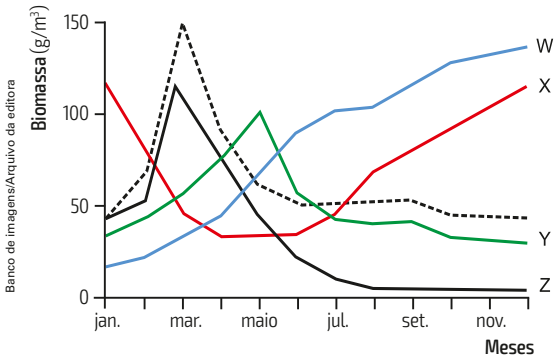
X b) $N + I > M + E$.

c) $N + E > M + I$.

d) $M + N < E + I$.

e) $N < M - I + E$.

10. (Uerj) A biomassa de quatro tipos de seres vivos existentes em uma pequena lagoa foi medida uma vez por mês, durante o período de um ano. No gráfico abaixo estão mostrados os valores obtidos.

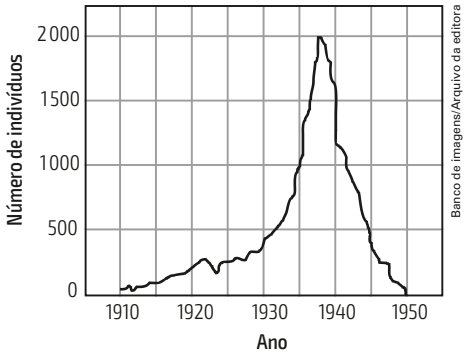


A curva pontilhada representa a variação da biomassa do fitoplâncton.

A variação da biomassa do zooplâncton está representada pela curva identificada por:

a) W. b) X. x c) Y. d) Z.

11. (Fuvest-SP) Em 1910, cerca de 50 indivíduos de uma espécie de mamíferos foram introduzidos numa determinada região. O gráfico abaixo mostra quantos indivíduos dessa população foram registrados a cada ano, desde 1910 até 1950.



Fonte: BSCS Biology – An ecological approach. Kendal/Hunt Pub. Co., 5th ed. 2006. Adaptado.

Esse gráfico mostra que:

a) desde 1910 até 1940, a taxa de natalidade superou a de mortalidade em todos os anos.
b) a partir de 1938, a queda do número de indivíduos foi devida à emigração.
c) no período de 1920 a 1930, o número de nascimentos mais o de imigrantes foi equivalente ao número de mortes mais o de emigrantes.
x d) no período de 1935 a 1940, o número de nascimentos mais o de imigrantes superou o número de mortes mais o de emigrantes.
e) no período de 1910 a 1950, o número de nascimentos mais o de imigrantes superou o número de mortes mais o de emigrantes.

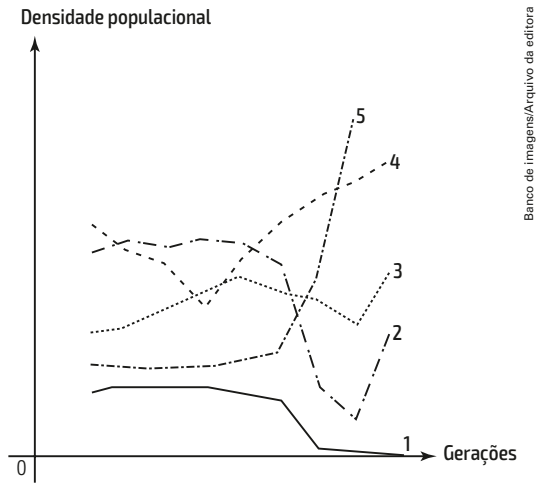
12. (UFRGS-RS) Leia os itens a seguir, que contêm informações sobre a dinâmica de três populações.

I. Uma população humana com taxa de natalidade de 150 nascimentos/ano, taxa de mortalidade de 80 mortes/ano e iguais taxas de imigração e emigração.
II. Uma população de insetos com iguais taxas de natalidade e mortalidade, taxa de emigração de 45 indivíduos/ano e taxa de imigração de 15 indivíduos/ano.
III. Uma população de roedores com taxa de natalidade de 50 nascimentos/ano, taxa de mortalidade de 27 mortes/ano e taxas de imigração e emigração iguais a zero.

Quais das populações mencionadas estariam mais sujeitas ao desaparecimento?

a) Somente a dos humanos.
x b) Somente a dos insetos.
c) Somente a dos roedores.
d) Somente a dos humanos e a dos roedores.
e) Somente a dos humanos e a dos insetos.

13. (Uerj) Traíras são predadores naturais dos lambaris. Acompanhou-se em uma pequena lagoa a evolução da densidade populacional dessas duas espécies de peixes. Tais populações, inicialmente em equilíbrio, sofreram notáveis alterações após o início da pesca predatória da traíra na mesma lagoa. Esse fato pode ser observado no gráfico a seguir, em que a curva 1 representa a variação da densidade populacional da traíra.



A curva que representa a variação da densidade populacional de lambaris é a de número:

a) 2.
b) 3.
c) 4.
x d) 5.

14. (UFU-MG) Imagine uma grande fazenda onde exista uma imensa plantação de milho. O proprietário dessa fazenda adora atirar em cobras, cachorros-do-mato, gatos e gaviões. Ele também tem a curiosa mania de presentear quem lhe traz ratos mortos. O que acontecerá se, com a inflação e a recessão, esse fazendeiro resolver economizar parando de presentear seus caçadores de ratos?

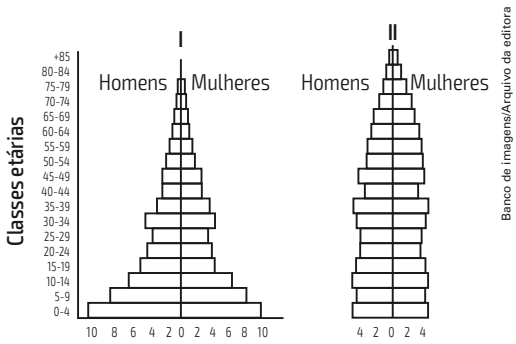
a) Como ratos não se alimentam de milho, a produção da fazenda não será alterada.

X b) Haverá uma diminuição na produção de milho, devido ao aumento na população de ratos, já que eles estão livres dos seus inimigos naturais.

c) Após alguns meses, haverá uma explosão populacional de ratos, o que causará um aumento no número de casos de dengue, já que o hospedeiro intermediário dessa bactéria é o rato.

d) Os ratos, que agora não serão mais caçados, alimentam-se das ervas daninhas e dos insetos do milharal, aumentando, portanto, a produção de milho dessa fazenda.

15. (PUCC-SP) Considere as pirâmides de idades de duas populações humanas esquematizadas a seguir.



Comparando-as, pode-se afirmar que:

a) a mortalidade infantil é maior em II do que em I.

b) a expectativa de vida é maior em I do que em II.

X c) o crescimento populacional é maior em I do que em II.

d) as mulheres vivem mais que os homens em I do que em II.

e) existe uniformidade na distribuição das classes etárias em I e não em II.

16. (UFSM-RS) Na história humana, civilizações se ergueram e se extinguiram devido muitas vezes a processos naturais, que favoreciam a dinâmica dos povos, pelo menos em determinados períodos. Relevo, clima, migração, densidade populacional, competição, entre outros fatores, contribuíam para regular esses processos.

Sobre os processos ecológicos envolvidos nessa dinâmica, considere as afirmativas a seguir.

I. Densidade populacional se refere exclusivamente ao tamanho ou número de indivíduos de uma população.

II. Medidas de tamanho de uma população, tomadas em diferentes intervalos de tempo, informam se ela está em expansão, em declínio ou em estabilidade, o que permite fazer correlações com fatores como disponibilidade de alimento e clima.

III. Em uma representação gráfica, o crescimento de uma população a partir de poucos indivíduos iniciais descreve uma curva em forma de S (curva exponencial), que ascende até o limite máximo de indivíduos que o ambiente consegue suportar.

Está(ão) correta(s):

a) apenas I.

X b) apenas II.

c) apenas III.

d) apenas I e II.

e) apenas II e III.

Trabalho em equipe

Escolham um dos temas abaixo para pesquisar em livros e *sites* na internet. Se possível, peçam auxílio aos professores de Geografia e Sociologia.

1. O significado dos seguintes índices: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e Produto Interno Bruto (PIB). Pesquisem também como está o Brasil em relação a esses índices, comparando-o a outras nações.

2. O que é transição demográfica?

CAPÍTULO 16

Relações entre os seres vivos

© RAZVAN CIUCA/Getty Images

Peixe-palhaço (em torno de 5 cm a 10 cm de comprimento) entre os tentáculos da anêmona.

Todos os seres vivos se relacionam com o ambiente e entre si. Algumas dessas relações são mais diretas e podem trazer muitos benefícios, como proteção contra predadores e alimento. Um exemplo é o peixe-palhaço, que se protege vivendo entre os tentáculos da anêmona. Sua pele possui uma proteção especial, que impede que ele seja atingido pelo veneno dos tentáculos da anêmona. Esta se beneficia comendo restos de alimento do peixe-palhaço. Vamos conhecer agora outros tipos de relação entre os seres vivos.

- *Como você se relaciona com outros seres vivos?*
- *Você sabe o que é um ser parasita?*
- *Por que alguns animais se confundem com a paisagem, enquanto outros se destacam e chamam atenção?*

1 Tipos de relações

Em uma comunidade há vários tipos de relações (interações ou associações) entre os seres vivos. Algumas ocorrem entre seres da mesma espécie: são as **relações intraespecíficas** (do latim *intra* = dentro); outras, entre seres de espécies diferentes: são as **relações interespecíficas** (do latim *inter* = entre).

Em alguns casos, ambos os participantes da relação são beneficiados, ou seja, suas chances de sobrevivência e reprodução aumentam; em outros casos, um participante é beneficiado e o outro sofre algum prejuízo (suas chances de sobrevivência e reprodução diminuem) ou não tem nenhum benefício, mas também não sofre nenhum prejuízo. Quando há prejuízo para algum participante da relação, ela é considerada **negativa** ou desarmônica (termo em desuso); caso não haja prejuízo para nenhum dos associados, a relação é considerada **positiva** ou harmônica (termo em desuso). Esses efeitos costumam ser representados por sinais: "+" quando houver benefícios para o participante; "–" quando houver prejuízo; "0" quando não houver benefício nem prejuízo para o participante. Uma interação entre o parasita e seu hospedeiro, por exemplo, é representada por "+ –", já que o parasita é beneficiado e o hospedeiro, prejudicado.

Veja abaixo os diversos tipos de associação.

- Relações em que não há prejuízo para nenhum participante
  - intraespecíficas
    - sociedade
    - colônia
  - interespecíficas
    - mutualismo
    - protocooperação
    - comensalismo
- Relações em que há prejuízo para pelo menos um dos participantes
  - intraespecíficas
    - competição
  - interespecíficas
    - competição
    - predatismo
    - parasitismo

2 Reuniões e sociedades

São muitos os casos de indivíduos da mesma espécie que vivem em grupo, obtendo algumas vantagens. Por exemplo, muitas aves se reúnem nos locais de reprodução (figura 16.1), o que facilita o encontro de machos e fêmeas e a proteção da prole. Chamados **reuniões** ou **bandos**, esses agrupamentos são instáveis e podem se desfazer quando as condições que os favoreceram deixam de existir.

Gallo Images-Shaen Adey/Getty Images

Figura 16.1 Colônia de atobás-do-cabo (*Morus capensis*). Essa espécie se reúne em bandos e os indivíduos têm cerca de 1,6 m de envergadura.

As vantagens da vida em grupo são ainda maiores quando os animais se mantêm unidos de modo permanente. Esses agrupamentos são chamados **sociedades** e caracterizam-se pela divisão do trabalho e por cooperação entre seus membros. São encontrados em alguns grupos de insetos (que, por isso, são chamados de insetos sociais: formigas, cupins e várias espécies de abelhas e vespas), nos castores, nos gorilas e na espécie humana.

Entre os insetos sociais, a divisão do trabalho é tão grande que o corpo dos indivíduos está modificado e adaptado de acordo com as funções que realizam. O resultado dessa extrema especialização é a existência, na mesma espécie, de grupos de indivíduos com características diferentes, fenômeno chamado **polimorfismo morfológico** (do grego *polys* = muitos; *morphé* = forma); cada grupo diferente forma uma **casta**. Veja nos itens a seguir alguns exemplos de sociedade.

Sociedade das abelhas

Várias espécies de abelhas formam sociedades altamente organizadas (figura 16.2), nas quais cada indivíduo coloca a sobrevivência da colmeia acima de sua própria. O trabalho é feito, exclusivamente, pelas **operárias**, fêmeas estéreis com ovários atrofiados. Elas vivem apenas cerca de um mês e são as únicas que possuem especializações para a colheita do pólen, sendo encarregadas de colher também o néctar das flores, alimentar as larvas e produzir a cera para construir a colmeia. A conservação e a limpeza da colmeia são funções das operárias.

Serg64/Shutterstock/Glow Images

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 16.2 Abelha operária (cerca de 1,5 cm de comprimento) colhendo néctar em flor; embaixo, colmeia com operárias e uma rainha (no centro da foto).

Na maioria das colmeias, há apenas uma fêmea fértil, a **rainha**, cuja única função é ser fecundada e botar ovos. Com alguns dias de idade, ela executa o **voo nupcial** e é fecundada por um ou mais zangões, os machos (figura 16.3).

Otto Hahn/Picture Press/Latinstock

Figura 16.3 Zangão (cerca de 2 cm de comprimento) copulando com rainha em pleno voo.

Quando fecundados, os óvulos resultam em ovos, que originam as larvas femininas. Os óvulos não fecundados se desenvolvem por **partenogênese** (do grego *parthenos* = virgem; *genesis* = origem) e originam zangões. Como vimos no Volume 1, na partenogênese, os óvulos desenvolvem-se sem a participação de espermatozoides, não havendo, portanto, mistura de genes de dois gametas diferentes.

Todas as larvas que saem dos ovos são alimentadas pelas operárias durante os dois primeiros dias com **geleia real**, secreção glandular produzida pelas operárias jovens. As larvas que se desenvolverão em operárias e em zangões passam então a ser alimentadas com mel e pólen; aquelas que se desenvolverão em rainhas continuam recebendo geleia real.

Sociedade das formigas

Há, aproximadamente, 20 mil espécies de formigas descritas. Em uma sociedade de formigas saúvas (do gênero *Atta*), por exemplo, há fêmeas férteis (rainhas ou **içás**; pode haver mais de uma rainha por formigueiro), machos férteis (reis ou **bitus**) e soldados e operárias estéreis (figura 16.4). As operárias defendem a sociedade e coletam folhas para alimentar o fungo que lhes serve de alimento. Em certas épocas do ano, as rainhas e os machos, ambos dotados de asas, saem para o voo nupcial. Após a fecundação, os machos morrem e as rainhas vão fundar novos formigueiros.

Ryan M. Bolton/Shutterstock/Glow Images

Figura 16.4 Sociedade de formigas: operárias (cerca de 6 mm a 8 mm de comprimento) carregando folhas.

Sociedade dos cupins

Entre os cupins, os operários são machos e fêmeas estéreis. Os soldados também são machos e fêmeas estéreis, mas que apresentam pernas e mandíbulas muito fortes, e são encarregados de defender a sociedade (figura 16.5).

Em certas épocas do ano, podemos ver machos e fêmeas alados, conhecidos como **siriris** ou **aleluias**, formando nuvens em torno das lâmpadas, mas o ato sexual realiza-se no solo, depois que ambos perdem as asas. Ao contrário dos zangões e dos machos de formiga, o cupim macho permanece com a rainha na câmara nupcial (cavidade feita na madeira pelo casal) e a fecunda periodicamente. A rainha pode botar milhares de ovos por dia, e seu abdome aumenta centenas de vezes.

Fotos: Fabio Colombini/ Acervo do fotógrafo

Figura 16.5 Tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) alimentando-se em um cupinzeiro. Na foto à direita, cupim imaturo (branco) e cupim soldado (*Cornitermes* sp.), com cerca de 8 mm de comprimento.

Biologia e ambiente

Urbanização e cupins

Existem 2 mil espécies de cupins encontradas principalmente em países tropicais. Já foram encontrados fósseis de 55 milhões de anos desses insetos.

Na língua tupi, cupim significa "montículo", em referência à forma de seus ninhos; e "térmita" ou "térmite", em latim, significa "verme da madeira". A maioria das espécies alimenta-se de madeira, raízes, folhas e matéria orgânica do solo, o que contribui para a reciclagem da matéria, além de manter diversas relações ecológicas com outras espécies. Os túneis construídos nos cupinzeiros favorecem a aeração do solo.

Com o aumento das cidades e do desmatamento, algumas espécies instalaram-se no ambiente urbano e destroem papéis, madeira, fiação elétrica e outros materiais usados na construção civil.

Controlar cupins é tarefa para profissionais especializados: muitos produtos são tóxicos e precisam ser usados e manipulados com cuidado.

Cooperação nas sociedades de mamíferos

Entre os mamíferos, há várias sociedades com grande grau de união e de cooperação (figura 16.6).

Nigel Dennis/Photo Researchers/Latinstock

Figura 16.6 Algumas suricatas (*Suricate suricatta*; cerca de 22 cm de comprimento) vigiam a entrada da toca enquanto os demais realizam outras atividades.

É frequente os animais de determinada sociedade dividirem alimento entre si. Os morcegos-vampiros que não conseguem comida quase sempre encontram outro morcego-vampiro que lhes doa sangue por meio da regurgitação: o animal lança pela boca um pouco do alimento que ainda estava em seu estômago. Para o morcego, essa ajuda é fundamental, pois ele morrerá se não conseguir alimento por duas noites seguidas (figura 16.7).

Michael Lynch/Shutterstock/Glow Images

Figura 16.7 Morcego-vampiro (6 cm a 10 cm de comprimento).

3 Colônias

As vantagens da vida em grupo podem ser conseguidas também pela união anatômica dos organismos, com a formação de **colônias**. Estas podem ser de dois tipos:

- **homotípicas**, **homeomorfas** ou **isomorfas** (do grego *homoios* = igual; *typos* = modelo; *morphé* = forma; *isos* = igual) – não há diferenças morfológicas entre seus membros, nem divisão de trabalho;
- **heterotípicas**, **heteromorfas** ou **polimorfas** (do grego *hétero* = diferente; *polys* = muitos) – há diferenciação e divisão de trabalho entre os indivíduos.

Colônias homeomorfas costumam ocorrer em protozoários, algas e corais (figura 16.8). Nesse caso, como são iguais, todos os indivíduos realizam o mesmo trabalho. Isso não acontece com alguns cnidários, como a caravela-portuguesa (*Physalia physalis*; figura 16.8).

Caravela-portuguesa (*Physalia physalis*; a estrutura cheia de gás atinge cerca de 30 cm de altura e os tentáculos podem atingir 20 m de comprimento).

Indivíduos que formam uma colônia do gênero *Dendrophyllia* (dependendo da espécie, a altura de cada indivíduo varia entre 3 mm e 60 mm; as colônias podem atingir até 1,5 m de altura).

Fotos: Peter Scoones/Spl/Latinstock

Figura 16.8 Colônias (cnidários).

A colônia da caravela-portuguesa é formada por indivíduos com formas e funções diferentes. Há indivíduos especializados na reprodução, na nutrição, na defesa e no ataque. Todos estão interligados e suspensos na água por uma bolsa de gás (pneumatóforo).

4 Mutualismo

O termo **mutualismo** pode ser usado em sentido amplo para qualquer associação em que os dois organismos de espécies diferentes sejam beneficiados (do latim *mutuare* = trocar, dar e receber). Mas ele é usado também em sentido mais estrito para indicar os casos em que há grande interdependência entre os organismos associados, envolvendo trocas de alimentos e de produtos do metabolismo com benefícios mútuos. Essa dependência é de tal ordem que a vida em separado se torna impossível.

Os autores, que usam o termo "mutualismo" em sentido amplo, referem-se a esses casos como **mutualismo obrigatório** ou **simbiose mutualística**. Quando a dependência é menor, possibilitando que os organismos sobrevivam quando isolados, a associação é chamada **mutualismo facultativo**, **cooperação** ou **protocooperação** (do grego *protos* = primitivo).

O termo **simbiose** (do grego *syn* = união; *bios* = vida) é empregado para indicar qualquer associação permanente entre organismos de espécies diferentes.

Vejamos alguns exemplos de mutualismo obrigatório (ou, simplesmente, mutualismo).

Leguminosas e bactérias

Certas bactérias vivem nas raízes de leguminosas e fornecem-lhes nitrogênio, que será utilizado na produção de proteínas. As leguminosas fornecem nutrientes para as bactérias e um tipo de hemoglobina, com a função de se combinar com parte do gás oxigênio, cujo excesso poderia destruir a enzima que fixa o nitrogênio (nitrogenase). Estudaremos o ciclo do nitrogênio com mais detalhes no Capítulo 18.

Cupim e protozoários

Apesar de se alimentar de madeira, o cupim não é capaz de fabricar a enzima que participa da digestão da celulose, principal componente da madeira. Mas, no intestino desses insetos vivem protozoários que digerem a celulose, produzindo nutrientes que podem ser absorvidos pelos cupins (figura 16.9). Eles quebram a celulose em glicose e, com a fermentação

dessa molécula, obtêm a energia necessária às suas funções. A fermentação produz ácido acético, que é oxidado pelo cupim e usado como fonte de energia.

Esse tipo de relação é encontrado também entre muitos mamíferos ruminantes (como o boi e a cabra) e bactérias que vivem em seu tubo digestório.

Figura 16.9 Cupim (ao microscópio eletrônico; aumento de cerca de 20 vezes; imagem colorizada por computador) e o protozoário *Trichonympha* sp. (ao microscópio de luz; aumento de cerca de 240 vezes). No esquema, digestão e fermentação da celulose.

Líquen

A associação entre certos fungos e algas clorofíceas ou cianobactérias costuma ser tão íntima que ambos formam um novo tipo de organismo: o **líquen** (figura 16.10). Sendo autotrófica, a alga fornece ao fungo parte da matéria orgânica que produz e recebe dele proteção, umidade e sais minerais.

Somadas as funções da alga e do fungo, o líquen se adapta aos mais variados lugares, como em troncos de árvores, pedras, montanhas e até no gelo. Apesar disso, os liquens são muito sensíveis à poluição do ar e funcionam como indicadores dessa forma de poluição: em ambientes poluídos, a maioria desaparece porque não possui cutícula e outras estruturas que, nos vegetais, funcionam como filtros da poluição. A poluição do ar pode ser medida também por processos físicos e químicos, mas os equipamentos utilizados nesses casos podem ter um custo mais elevado.

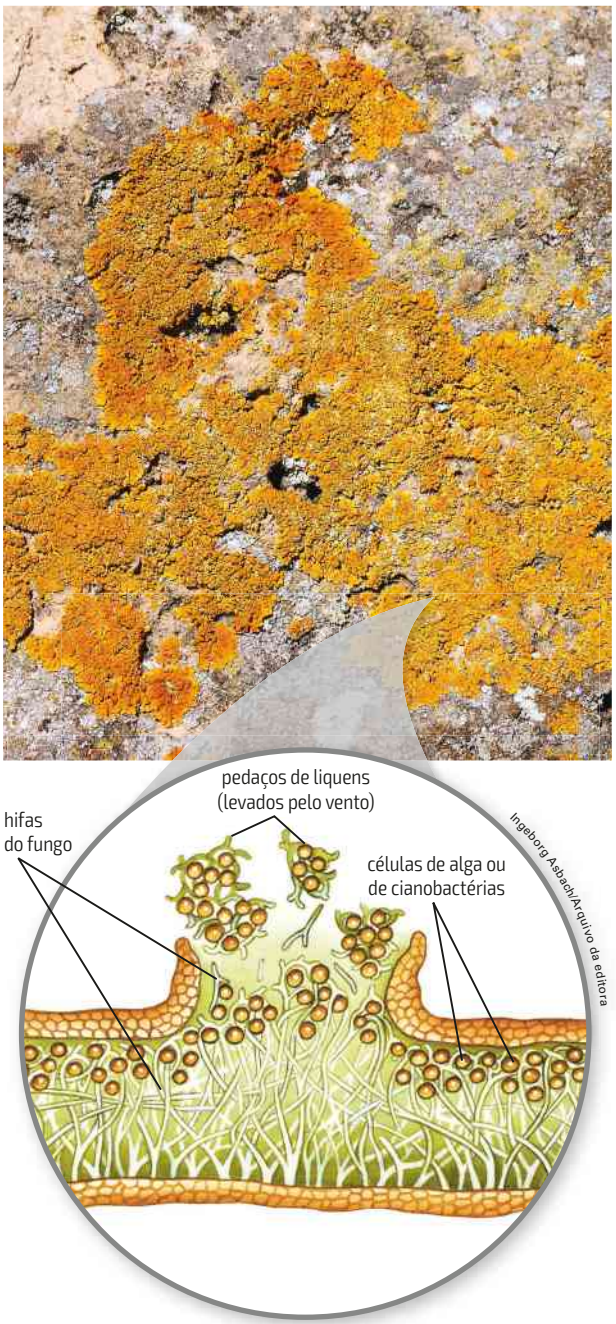


Figura 16.10 Foto de líquen e ilustração de como ele é visto ao microscópio, com aumento de cerca de mil vezes. (Os elementos da ilustração estão fora de escala; cores fantasia.)

Micorriza

Outro caso de mutualismo, chamado **micorriza** (do grego *mykes* = cogumelo; *rhiza* = raiz), ocorre entre plantas e certos fungos que crescem na superfície e no córtex das raízes delas (figura 16.11). O fungo facilita a absorção de sais minerais e a planta compartilha produtos orgânicos resultantes da fotossíntese. Uma prova dessa associação é que certas plantas não crescem – ou crescem mal – quando o fungo não está presente.

Eye Of Science/SPL/Latinstock

Figura 16.11 Micorriza vista ao microscópio eletrônico (aumento de cerca de 1 500 vezes; imagem colorizada por computador). Podem ser vistas as hifas do fungo (filamentos em laranja) no interior do córtex da raiz.

5 Protocooperação

Em muitos casos, indivíduos de espécies diferentes obtêm benefícios mútuos sem que haja dependência entre eles, diferente do que ocorre no mutualismo obrigatório, os indivíduos podem sobreviver quando isolados. Essa associação é chamada **protocooperação**, cooperação ou mutualismo facultativo. Alguns cientistas, como vimos, usam o termo *mutualismo* em sentido amplo, para qualquer associação em que os dois organismos sejam beneficiados.

Paguro e anêmona

O paguro (caranguejo também conhecido como bernardo-eremita) costuma viver dentro de conchas vazias, conseguindo proteção para seu abdome longo e desprovido de carapaça. Sobre a concha, ele coloca uma ou mais anêmonas, que, por terem células urticantes, afugentam possíveis predadores e lhe conferem uma proteção extra. A anêmona beneficia-se porque tem seu campo de alimentação ampliado quando o paguro se locomove e leva a concha, e pode também se alimentar dos restos dos alimentos do paguro (figura 16.12).

Norlaki Yamamoto/Minden Pictures/Latinstock

Figura 16.12 Protocooperação entre paguro (1,3 cm a 12 cm de comprimento, dependendo da espécie) e anêmonas.

Aves e mamíferos

Certas aves alimentam-se de carrapatos e de outros parasitas que vivem no dorso de alguns mamíferos, como o boi, o búfalo, o rinoceronte, entre outros. Além desse benefício, os gritos e os movimentos das aves indicam quando há algum perigo por perto (figura 16.13).

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 16.13 O anu-preto (cerca de 33 cm de comprimento) come os carrapatos que encontra entre os pelos da capivara (cerca de 1 m a 1,3 m de comprimento).

6 Comensalismo

Quando duas espécies se associam e apenas uma delas se beneficia, sem haver prejuízo para a outra, essa interação é chamada **comensalismo** (do latim *cum* = com; *mensa* = mesa; *ismo* = costume).

O benefício pode ser de ordem alimentar, que ocorre quando uma espécie usa os restos alimentares da outra (comensal é cada um dos que comem à mesma mesa); pode ser também o transporte de uma espécie por outra, que recebe o nome especial de **foresia** ou **forésia** (do grego *phoresis* = ação de levar); e pode ocorrer, ainda, quando uma espécie usa outra como abrigo, situação conhecida como **inquilinismo**, ou como suporte para fixação de uma planta – **epifitismo** (do grego *epi* = sobre; *phyton* = planta) – ou de um animal – **epizoísmo** (do grego *epi* = sobre; *zoon* = animal).

Rêmora e outros peixes

A rêmora ou peixe-piolho prende-se ao corpo de outros peixes, como o tubarão, por meio de uma nadadeira dorsal transformada em ventosa de fixação; com isso, obtém restos de comida e um eficiente meio de transporte (figura 16.14). Outros seres que estabelecem esse tipo de relação são, por exemplo, o peixe-piloto, que acompanha tubarões e aproveita os restos alimentares desses predadores.

Greg Amptman's Undersea Discoveries/Shutterstock/Glow Images

Figura 16.14 Rêmora (45 cm a 90 cm de comprimento) presa ao corpo de um tubarão-tigre (chega a mais de 5 m de comprimento) e detalhe de sua ventosa.

Peixe-agulha e pepino-do-mar

Alguns animais aquáticos, como as esponjas e as colônias de corais, servem de abrigo a diversos outros seres, chamados **inquilinos**. Estes não prejudicam de nenhum modo o animal que os abriga e têm até mesmo hábitos alimentares diferentes. É o que ocorre com o pepino-do-mar, um equinodermo, em cujo interior o peixe-agulha, ou fierásfer, se refugia.

Epífitas e árvores

Entre os vegetais de pequeno porte, a competição pela energia luminosa favorece aqueles que vivem sobre árvores e conseguem, assim, uma posição privilegiada para captar a luz do Sol. Essa interação é chamada de epifitismo; as plantas que fazem outras de suporte são chamadas **epífitas**, como as orquídeas (figura 16.15) e as bromélias. As epífitas não devem ser confundidas com plantas parasitas, como o cipó-chumbo, pois não retiram nenhum alimento das árvores em que vivem.

Bianca Pontes/EyeEm/Getty Images

Figura 16.15 Orquídea em tronco de uma árvore, que lhe serve de suporte.

7 Competição intraespecífica

Os seres vivos competem por nutrientes e energia. Entre os vegetais, a competição se dá principalmente por luz, água e sais minerais. Entre os animais, ela é mais variada: há luta por matéria orgânica (alimento), espaço vital, parceiros para a reprodução, etc. (figura 16.16).

Shem Compion/Gallo Images/Getty Images

Antílopes africanos (*Oryx gazella*, cerca de 1,8 m a 2 m de comprimento).

Ronald Wittek/Mauritius/Latinstock

Raposas vermelhas (*Vulpes vulpes*, cerca de 46 cm a 90 cm de comprimento, fora a cauda).

Figura 16.16 Combate entre machos pelo acesso à fêmea ou a um território. Muitas vezes não há uma verdadeira luta; cada um apenas exibe sua força ou suas armas.

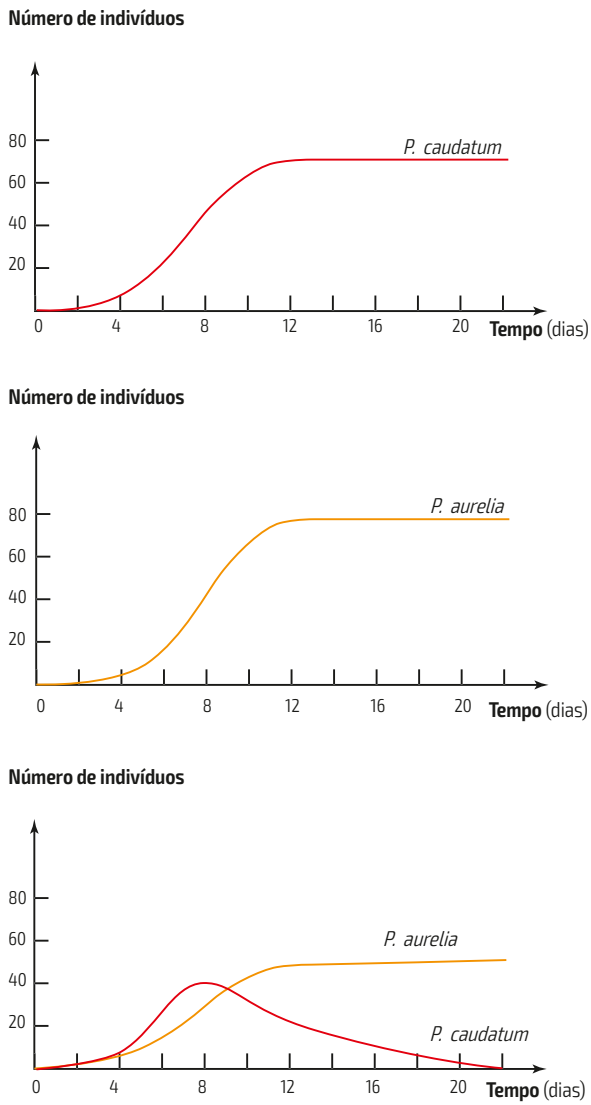
Quando seres vivos competem, há prejuízos para todos os indivíduos envolvidos, pois, mesmo para o vencedor, a competição custou parte de seu tempo e energia, que poderia ter sido usada para garantir sua sobrevivência e reprodução.

A competição intraespecífica é um dos fatores que controlam o tamanho das populações, pois provoca a morte ou afeta a reprodução de alguns indivíduos. Em aves e mamíferos, é comum o indivíduo estabelecer, pelo menos durante a época de reprodução, uma região ou um território em que não permite a entrada de estranhos. O território pode ser demarcado de várias maneiras. No caso de lobos e coelhos, a urina e as fezes possuem substâncias com cheiro característico, por exemplo.

8 Competição interespecífica

Em 1934, o cientista russo G. F. Gause (1910-1986) estudou o efeito da competição interespecífica em duas espécies do protozoário *Paramecium*: *P. aurelia* (de 40 µm a 130 µm de comprimento) e *P. caudatum* (menos de 0,25 µm de comprimento).

Em geral, criados separadamente, esses protozoários crescem até um nível que, aparentemente, equivale ao limite da capacidade de sustentação do ambiente. No experimento de Gause, as duas espécies foram cultivadas juntas. De reprodução mais lenta, a *P. caudatum* diminuía até se extinguir; a *P. aurelia* continuava a crescer até se estabilizar (figura 16.17).



Gráficos elaborados para fins didáticos: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 16.17 Competição entre dois paramécios pelos mesmos recursos em uma determinada área: uma das espécies é eliminada.

Gause concluiu que duas espécies que competem pelos mesmos recursos não podem coexistir indefinidamente no mesmo *habitat*. Uma delas é mais eficiente na conquista desses recursos e tem maior sucesso reprodutivo; a outra é eliminada pela competição. Essa conclusão ficou conhecida como **princípio da exclusão competitiva** ou **de Gause**.

Outra forma de enunciá-lo é: duas espécies não podem conviver no mesmo *habitat* e com o mesmo nicho indefinidamente, pois a competição será tão grande que apenas uma – a mais adaptada – sobreviverá. A outra ou é eliminada ou emigra para outro *habitat* ou passa a ocupar outro nicho.

Caso duas espécies coexistam ao mesmo tempo no mesmo local, provavelmente haverá alguma diferenciação de nichos ecológicos, o que diminui a intensidade da competição. Por exemplo, espécies diferentes de um pássaro do gênero *Dendroica* se alimentam de insetos na mesma árvore, mas cada uma fica em determinada altura da árvore, o que caracteriza nichos distintos. Isso é suficiente para evitar a competição direta. Além disso, sua alimentação é mais intensa nos períodos de construção dos ninhos, que também são diferentes de uma espécie para outra.

9 Predatismo e herbivoria

No **predatismo** ou **predação** (do latim *praedaris* = caçar), um organismo (predador) mata outro (presa) para se alimentar. É um fenômeno muito frequente na natureza. Um caso bem conhecido ocorre entre mamíferos carnívoros (predadores) e herbívoros (presas).

A **herbivoria** ou **herbivorismo** é uma relação semelhante ao predatismo, que ocorre entre um animal herbívoro e as plantas das quais se alimenta. É considerada, por alguns autores, como um tipo de predatismo.

A seleção natural favorece tanto os predadores mais eficientes como as presas e plantas com defesas contra a predação e a herbivoria. Muitos predadores não escolhem ao acaso suas presas e, por isso, podem funcionar como fatores de seleção natural. Um guepardo capturará os antílopes menos velozes. Da mesma forma, os guepardos que não forem suficientemente velozes terão mais chance de morrer de fome.

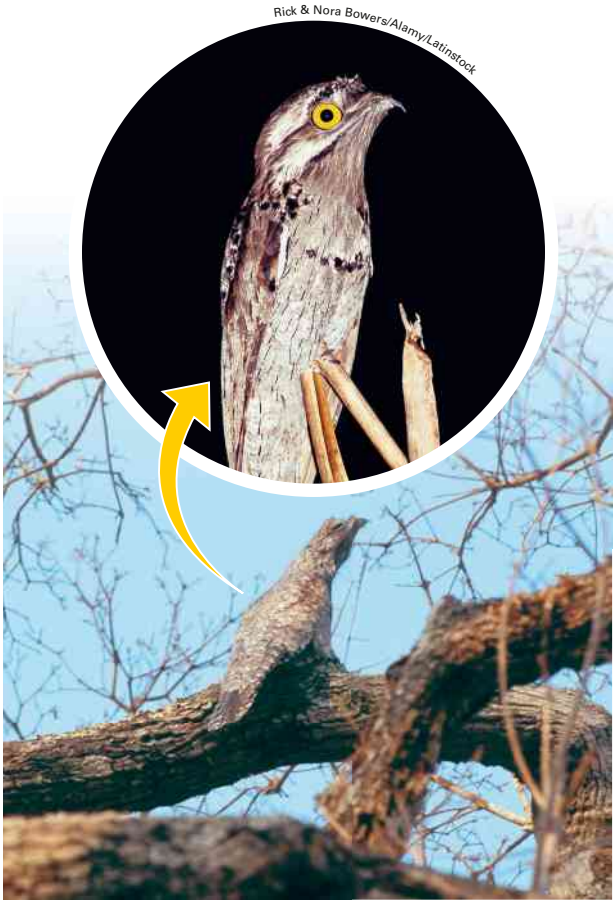
A camuflagem, a coloração de advertência e o mimetismo são três artifícios usados por presas e predadores que, por sua importância ecológica, merecem ser vistos com mais detalhes.

Camuflagem

O animal confunde-se, no aspecto ou na cor, com o ambiente em que vive, o que dificulta sua visualização pelo predador ou pela presa. Para a presa, a camuflagem serve de defesa, pois a ajuda a se esconder do predador. Para o predador, serve para facilitar sua aproximação até que dê o ataque. Os exemplos no reino animal são muitos: o urso-polar que se confunde com a neve; o leão, com o capim seco; os pássaros de cor verde, com a vegetação.

Nos insetos, a camuflagem atinge alto grau de aperfeiçoamento e podemos ver impressionantes imitações de folhas, galhos de árvores, espinhos, etc.

O urutau (*Nyctibius griseus*) é uma ave encontrada no Pantanal Mato-Grossense que dorme sobre a extremidade de uma árvore, ficando bem camuflado (figura 16.18).


Rick & Nora Bowers/Alamy/Latinstock

Artur Keunecke/Pulsar Imagens

Figura 16.18 Camuflagem do urutau (cerca de 37 cm de comprimento).

Coloração de advertência

Na coloração de advertência, também chamada **coloração aposemática** ou **aposematismo** (do grego *apo* = afastado; *sema* = sinal), a presa possui uma cor ou um aspecto que funciona como um sinal para o predador de que ela possui defesas contra ele. Estas podem ser um gosto ruim ou a liberação de secreções irritantes ou certos tipos de veneno. A coloração de advertência permite que os predadores aprendam que essas defesas existem e passem a evitar esses animais (figura 16.19).

Danita Delimont/Getty Images

Figura 16.19 Anfíbios venenosos costumam ser bem coloridos, como se vê neste exemplar da espécie *Dendrobates azureus* (de 2,5 cm a 5 cm de comprimento).

Mimetismo

O **mimetismo** (do grego *mimesis* = imitação) ocorre quando os animais de uma espécie se assemelham aos de outra espécie venenosa, não palatável (de gosto ruim) ou perigosa para o predador.

Algumas borboletas não têm gosto ruim, não eliminam substâncias irritantes nem são venenosas, mas apresentam a forma ou a cor daquelas que têm essas defesas. É também o caso de insetos inofensivos que se assemelham a vespas que picam com o ferrão. Ou, ainda, de serpentes não peçonhentas, como a cobra-coral-falsa, semelhantes às espécies peçonhentas, como a cobra-coral-verdadeira (figura 16.20). Com esse artifício, o animal pode ser poupado, pois engana o predador que já teve experiências desagradáveis com o animal mimetizado e aprendeu a evitá-lo.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Cobra-coral-falsa (*Oxyrhopus guibei*; até 1,20 m de comprimento).

Cobra-coral-verdadeira (*Micrurus coralinus*; 60 cm a 70 cm de comprimento).

Figura 16.20 A cobra-coral-falsa, que não é peçonhenta, assemelha-se à cobra-coral-verdadeira, que é peçonhenta.

Essa semelhança acontece por meio de um processo evolutivo, em que um animal inofensivo, por mutação, passa a assemelhar-se a outro que provoca danos ao predador (chamado animal-modelo), ganhando uma vantagem seletiva e aumentando, assim, de número na população.

Esse tipo de mimetismo é chamado **mimetismo batesiano**, em homenagem ao seu descobridor, o naturalista inglês Henry Bates (1825-1892).

Outro caso de mimetismo ocorre quando várias espécies, todas protegidas contra predadores por alguma defesa, como veneno ou gosto ruim, evoluem e passam a apresentar a mesma aparência. Com isso, uma espécie é beneficiada pela experiência desagradável que o predador teve com outra espécie. Esse fenômeno foi descrito pelo zoólogo alemão Fritz Müller (1831-1897) e é chamado **mimetismo mülleriano**.

10 Parasitismo

Muitos organismos se instalam no corpo de outros seres para extrair alimento, é o caso de muitas espécies de vermes, como vimos no Volume 2. Esses organismos são chamados **parasitas** (do grego *para* = ao lado; *sitos* = alimento); os seres que lhes servem de moradia e dos quais extraem o alimento são conhecidos como hospedeiros.

Apesar de não causar a morte, pelo menos imediata, de seu hospedeiro, o parasita o enfraquece e prejudica suas funções orgânicas, sendo responsável por várias doenças.

Há parasitas nos mais variados grupos de organismos, como vírus, bactérias, protozoários, fungos, vermes, insetos e até mesmo alguns vegetais. Por exemplo, o cipó-chumbo é uma planta sem clorofila que retira as substâncias orgânicas de outro vegetal (figura 16.21).

Apesar de clorofilada, a erva-de-passarinho (figura 16.22) precisa obter em outros vegetais a água e os sais minerais para realizar fotossíntese. Dizemos, por isso, que ela é **hemiparasita** (do grego *hemi* = meio, pela metade), e, por comparação, que o cipó-chumbo é **holoparasita** (do grego *holos* = inteiro).

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 16.22 Erva-de-passarinho (folhas com 5 cm a 8 cm de comprimento).

Ingeborg Asbach/Arquivo da editora

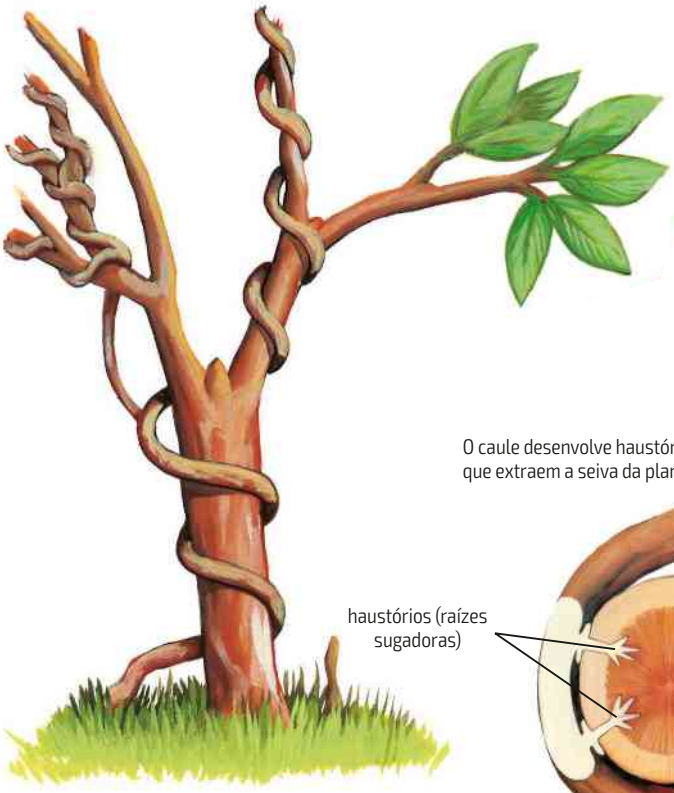


Figura 16.21 Acima, foto do cipó-chumbo (amarelo) sobre planta hospedeira. Ao lado, representação dos haustórios dessa planta. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Relações entre os seres vivos e a diversidade cultural

Os seres humanos também estabelecem diversos tipos de relações com outros seres vivos. Ao longo da história, a sobrevivência da espécie humana sempre dependeu dessas relações e da interação com o meio ambiente de forma geral. Alimentação, moradia, vestuário e proteção contra predadores são apenas alguns dos aspectos importantes à sobrevivência humana que se originam e dependem do ambiente natural (figura 16.23).

Delfim Martins/Pulsar Imagens

Figura 16.23 Representação de um grupo de homens de *Neanderthal*. A imagem mostra uma gruta usada como abrigo, peles usadas como vestimenta e o uso do fogo, entre outros elementos da natureza. Essa espécie de hominídeo habitou a Europa e partes da Ásia cerca de 230 mil a 29 mil anos atrás.

Todos os seres humanos interagem com o ambiente, mas cada povo, de acordo com sua cultura, se relaciona com os recursos naturais de maneiras distintas. Em nossa sociedade, muitas vezes, desenvolvemos uma visão simplesmente utilitarista do meio ambiente. Isto é, para muitas pessoas o ambiente existe somente para nos servir. Uma grande queda-d'água, por exemplo, serve apenas para a construção de uma hidroelétrica; um rio serve somente para escoar o esgoto urbano; a madeira é útil em construções; e assim por diante. Muitas vezes, essa visão utilitarista dos recursos naturais tem como consequência a degradação ambiental (figura 16.24) e, por isso, deve ser evitada.

Science Photo Library/Latinstock

Figura 16.24 Uso de um rio como esgoto na periferia de uma cidade no Pará, em 2014.

As sociedades indígenas, ao contrário, costumam preservar melhor a natureza: ainda que modifiquem o ambiente ao seu redor, geralmente esses povos não alteram de forma tão drástica os ciclos naturais do meio. Por isso, dizemos que sua forma de exploração dos recursos naturais gera menos impacto (figura 16.25).

David Hogsholt/Getty Images

Figura 16.25 Crianças e jovens guaranis usando um rio para o lazer.

Estima-se que existam, atualmente, 896 mil indígenas no Brasil. Esses indígenas estão divididos em 250 grupos com origens diferentes e que falam aproximadamente 180 línguas distintas. Há, ainda, 63 referências a grupos indígenas ainda sem contato com nossa civilização e sobre os quais nós sabemos muito pouco.

O maior grupo populacional indígena do Brasil é o Guarani, que se divide em três subgrupos.

Os Guarani têm um forte sentimento de pertencimento em relação à natureza. Isso quer dizer que, para eles, o ser humano e o meio ambiente fazem parte de uma só realidade. Essa forte identificação é expressa em muitos dos mitos da cultura guarani, nos quais é comum que um humano se torne animal ou um animal se torne humano. Talvez esse sentimento de identificação justifique por que a preservação da biodiversidade é interpretada pelos indígenas como parte do desenvolvimento humano.

Também a forma de aprendizado dos indígenas é distinta da nossa. Enquanto nós estudamos muito por meio da língua escrita, na cultura guarani o aprendizado se dá principalmente através da oralidade. Ou seja, por meio da narrativa dos mais velhos, pelas canções nas cerimônias e em caminhadas pela mata. Isso contribui para que não somente os conhecimentos, mas também a cultura e os valores indígenas sejam transmitidos entre as gerações (**figura 16.26**).

Renato Soares/Pulsar Imagens

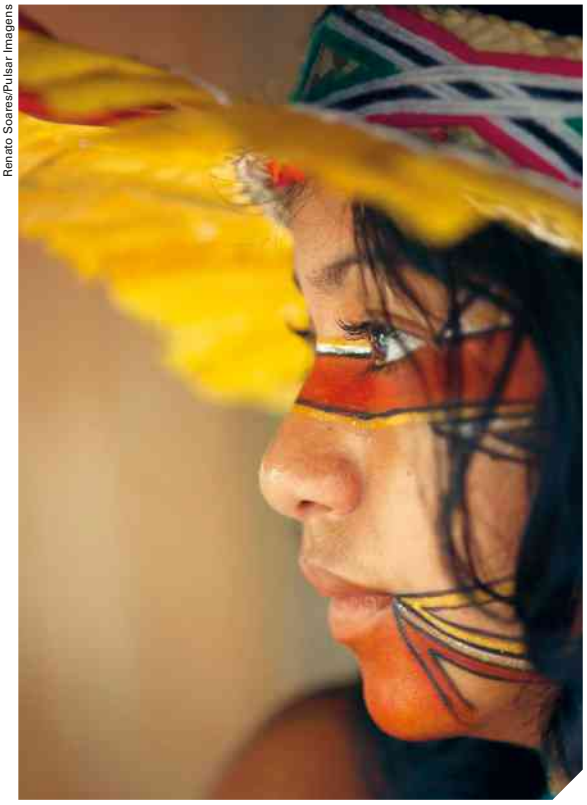


Figura 16.26 Moça indígena na Reserva da Jaqueira em Porto Seguro (BA). Foto de 2015.

Os Guarani acreditam que seres sobrenaturais, chamados Jaras, são donos e cuidam de cada um dos elementos da natureza. Assim, a água (que em guarani se diz "*y*") é cuidada por um ser sobrenatural chamado Yjara, que em português gera o nome próprio Iara. Esse nome é geralmente traduzido por "mãe-d'água" (**figura 16.27**).

vilenchik/Shutterstock/Glow Images

Figura 16.27 Representação artística da Yjara.

Para um integrante da cultura guarani, qualquer atitude que prejudique o meio ambiente cria consequências para toda a aldeia. A degradação de um rio, por exemplo, será interpretada pelo Jara do rio como uma ofensa. Como consequência, o Jara poderá responder à ofensa por meio de uma inundação ou de uma seca, que prejudicaria a lavoura trazendo escassez de alimento para toda a comunidade.

Em nossa sociedade tentamos explicar fenômenos como enchentes e secas por meio da ciência. A escassez de água é um fato recente nas cidades do Sudeste do Brasil. O Sistema Cantareira, um dos maiores reservatórios de água do mundo, teve seus recursos quase esgotados em 2015. Além das alterações que observamos no clima, especialistas apontam o desperdício de água tratada e a poluição dos inúmeros rios da região como causas do problema.

Esse é um exemplo de situação em que a atitude humana é decisiva para a preservação ou para a degradação ambiental. Nesse sentido, a cultura indígena pode nos ensinar como respeitar o meio ambiente e os demais seres vivos. O conhecimento de outras culturas mostra que os povos indígenas do Brasil têm muito a contribuir para nossa compreensão sobre as relações entre o ser humano e a natureza. Essa é uma das razões pela qual todas as culturas devem ser preservadas e valorizadas.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Atividades

1. Os gráficos a seguir mostram o que acontece, ao longo do tempo, com a densidade populacional (número de indivíduos por metro quadrado) de duas espécies (A e B) vivendo isoladas uma da outra (gráfico 1) e vivendo juntas na mesma região (gráfico 2). Responda: que tipo de relação ecológica deve existir entre as duas espécies? Justifique sua resposta.

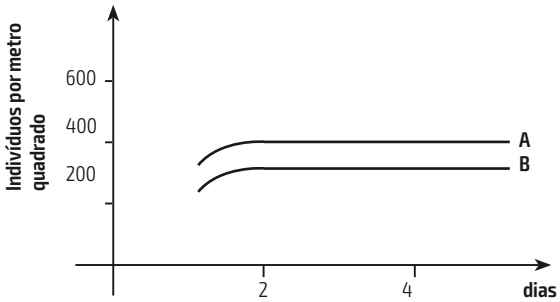


Gráfico 1

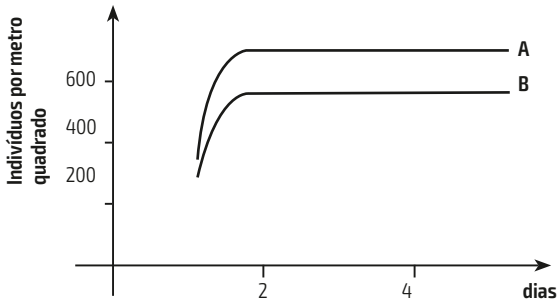


Gráfico 2

Banco de imagens/Arquivo da editora

2. Nas florestas de Bornéu, vive o besouro-tigre, predador agressivo e rápido (desenvolve velocidades de até 9 km/h), que, com suas mandíbulas, ataca as presas e se defende de possíveis predadores. Na mesma região, vive também um gafanhoto (gênero *Condylodera*), inseto herbívoro que tem aparência e tamanho semelhantes aos do besouro.

a) Como se chama esse fenômeno? Qual a vantagem auferida pelo gafanhoto nesse exemplo?

b) Utilizando os conceitos de "mutação" e "seleção natural", sugira uma hipótese para explicar como os gafanhotos dessa espécie se tornaram semelhantes ao besouro-tigre.

3. A malária é uma doença causada por um microrganismo chamado plasmódio, que é transmitido aos seres humanos pela picada de algumas espécies de mosquitos. Em certas regiões onde há malária, encontra-se um peixe, a tilápia, que se alimenta das larvas do mosquito.

a) Quais são as relações ecológicas entre as tilápias e as larvas do mosquito e entre o plasmódio e o ser humano?

b) Se nessa região for introduzido um peixe predador da tilápia, o que poderá acontecer com o número de casos de malária? Justifique sua resposta.

4. Embora a orquídea viva em cima das árvores, ela não é um parasita. O cipó-chumbo, que também vive nas árvores, é considerado um parasita. Por quê?

5. Você aprendeu neste capítulo que podemos usar sinais para caracterizar as relações entre seres vivos: "+", quando houver benefício para o participante; "–", quando houver prejuízo; "0", quando não houver benefício nem prejuízo para o participante, como na interação entre o parasita e seu hospedeiro, que é representada por "+ –". Reveja os exemplos do capítulo e aplique esses sinais para caracterizar as relações de mutualismo, protocooperação, comensalismo, competição interespecífica e predatismo.

6. Em algumas regiões do Brasil o número de onças-pintadas está diminuindo por causa do ataque de caçadores e fazendeiros, e já podem ser encontradas, no mesmo território, onças-pardas. Ambas as espécies se alimentam de animais herbívoros, como pacas, capivaras e tatus.

a) Qual a relação ecológica entre a onça-pintada e a onça-parda?

b) A extinção das onças poderia interferir no número de herbívoros da região?

7. (Vunesp-SP) Um grupo de estudantes, em visita à zona rural, observou bois e gafanhotos alimentando-se de capim; orquídeas, liquens e erva-de-passarinho em troncos de árvores; lagartos caçando insetos e, no pasto, ao lado de vários cupinzeiros, anus retirando carrapatos do dorso dos bois.

a) Identifique, entre as diferentes relações descritas no texto, dois exemplos de parasitismo.

b) Entre as relações observadas pelos estudantes, cite uma relação interespecífica de benefício mútuo e uma estrutura que indique uma relação intraespecífica.

8. (UFSC) Em 2009, comemoraram-se 200 anos do nascimento de Charles Darwin e 150 anos da publicação de sua obra *A Origem das espécies*. Para essa obra, o pensamento de Thomas Malthus, segundo o qual "a população de um território é limitada pela quantidade de alimentos nele disponível", foi muito importante, pois Darwin percebeu que este argumento, embora relacionado aos humanos, aplicava-se também, perfeitamente, ao mundo das plantas e dos animais.

No caso dos animais o tamanho populacional é influenciado, além de outros fatores, pela predação. Sobre esse assunto, responda:

a) O que é predação?
b) Considerando um espaço territorial limitado, de que forma a predação pode influenciar no tamanho populacional de presas?
c) Considerando um espaço territorial limitado, de que forma a predação pode influenciar no tamanho populacional de predadores?

9. (Enem) O controle biológico, técnica empregada no combate a espécies que causam danos e prejuízos aos seres humanos, é utilizado no combate à lagarta que se alimenta de folhas de algodoeiro. Algumas espécies de borboleta depositam seus ovos nessa cultura. A microvespa *Trichogramma* sp. introduz seus ovos nos ovos de outros insetos, incluindo os das borboletas em questão. Os embriões da vespa se alimentam do conteúdo desses ovos e impedem que as larvas de borboleta se desenvolvam. Assim, é possível reduzir a densidade populacional das borboletas até níveis que não prejudiquem a cultura. A técnica de controle biológico realizado pela microvespa *Trichogramma* sp. consiste na:

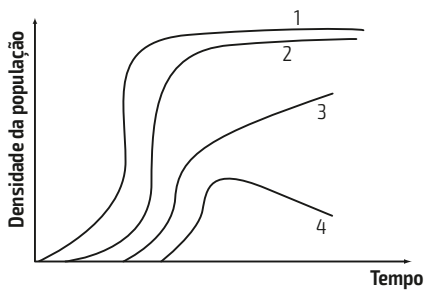
X a) introdução de um parasita no ambiente da espécie que se deseja combater.
b) introdução de um gene letal nas borboletas para diminuir o número de indivíduos.
c) competição entre a borboleta e a microvespa para a obtenção de recursos.
d) modificação do ambiente para selecionar indivíduos melhor adaptados.
e) aplicação de inseticidas a fim de diminuir o número de indivíduos que se deseja combater.

10. (UFMG) O fungo *Penicillium*, por causar apodrecimento de laranjas, acarreta prejuízos pós-colheita. Nesse caso, o controle biológico pode ser feito utilizando-se a levedura *Saccharomycopsis*, que mata esse fungo, após perfurar sua parede e absorver seus nutrientes.

É correto afirmar que esse tipo de interação é conhecido como:

a) comensalismo.
b) mutualismo.
c) parasitismo.
X d) predatismo.

11. (Uerj) Bactérias de duas espécies foram cultivadas separadamente e em conjunto nas mesmas condições experimentais e com suprimento constante do mesmo tipo de alimento. No gráfico a seguir, as curvas mostram a variação da densidade populacional das bactérias estudadas em função do tempo de cultivo. As curvas 1 e 2 representam os resultados encontrados para as duas espécies quando cultivadas separadamente, e as curvas 3 e 4, quando cultivadas em conjunto.



Banco de imagens/Arquivo da editora

A relação ecológica estabelecida entre as bactérias que melhor explica os resultados encontrados é classificada como:

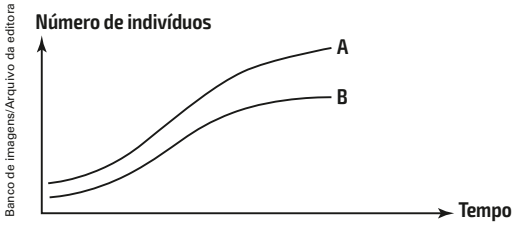
a) predação.
b) parasitismo.
X c) competição.
d) comensalismo.

12. (Vunesp-SP) Um jornal de grande circulação comentou o alto faturamento em dólares de uma empresa que está exportando ovos de uma traça, parasitados por minúsculas vespas especializadas em atacar a broca de cana, a lagarta-cartucho do milho e pragas do tomateiro. Esses ovos vão para os EUA, Suíça, França, Holanda, Portugal, Espanha e Dinamarca, para serem usados para a reprodução das vespas. A empresa também vende casulos de outra pequena vespa que, liberada, vai colocar seus ovos e destruir lagartas que são pragas em lavouras. (*O Estado de S. Paulo*, 17/9/2003.)

Pelo texto, pode-se afirmar que a reportagem refere-se:

a) ao controle de pragas na agricultura pela produção de insetos estéreis.
b) à produção de polinizadores a serem utilizados para a inseminação das plantas.
c) à produção de genes específicos para a utilização de técnicas de engenharia genética aplicadas à agricultura.
d) à produção de larvas de insetos a serem utilizadas como predadores de folhas atacadas por doenças.
X e) à utilização das técnicas do controle biológico no combate a pragas agrícolas.

13. (UFMG) Observe os gráficos referentes às curvas de crescimento populacional de duas espécies. O gráfico I representa o crescimento populacional dessas espécies criadas isoladamente. O gráfico II representa o crescimento populacional dessas espécies reunidas em uma cultura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Gráfico I – Espécies isoladas

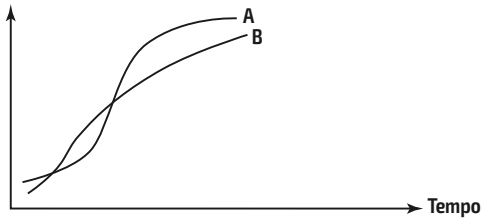


Gráfico II – Espécies reunidas

Com base na comparação dos dois gráficos, pode-se afirmar que a provável relação ecológica entre as duas espécies seria mais bem definida como:

a) inquilinismo.
b) competição.
X c) protocooperação.
d) comensalismo.

14. (PUC-SP) Em uma comunidade, viviam as espécies 1 e 2, herbívoras e competidoras entre si, que serviam de alimento para uma espécie 3. Nesse ambiente, introduziu-se uma espécie 4, desempenhando papel de consumidor secundário na mesma teia alimentar da qual faziam parte 1, 2 e 3. Com o passar do tempo, constatou-se uma redução no número de indivíduos das espécies 1, 2 e 3 e um aumento considerável na população da espécie 4. Dentre as alternativas abaixo, assinale a única que apresenta uma explicação plausível para o fato ocorrido.

a) A espécie 4 apresentou vantagem ao competir por alimento com as espécies 1, 2 e 3.
b) A espécie 4 apresentou vantagem ao competir por alimento com as espécies 1 e 2 e foi predadora da espécie 3.
c) A espécie 4 apresentou vantagem ao competir por alimento com as espécies 1 e 2 e foi presa da espécie 3.
X d) A espécie 4 foi predadora das espécies 1 e 2 e apresentou vantagem ao competir por alimento com a espécie 3.
e) A espécie 4 foi predadora das espécies 1 e 2 e presa da espécie 3.

15. (Vunesp-SP)

Tudo começa com os cupins alados, conhecidos como aleluias ou siriris. Você já deve ter visto uma revoada deles na primavera. São atraídos por luz e calor e, quando caem no solo, perdem suas asas. Machos e fêmeas se encontram formando casais e partem em busca de um local onde vão construir os ninhos. São os reis e as rainhas. Dos ovos nascem as ninfas, que se diferenciam em soldados e operários. Estes últimos alimentam toda a população, passando a comida de boca em boca. Mas, como o alimento não é digerido, dependem de protozoários intestinais que transformam a celulose em glicose, para dela obterem a energia.

Mas do que se alimentam? Do tronco da árvore de seu jardim ou da madeira dos móveis e portas da sua casa?

Segundo os especialistas, existem dois tipos de residência: as que têm cupim e as que ainda terão.

(Texto extraído de um panfleto publicitário de uma empresa dedetizadora. Adaptado.)

No texto, além da relação que os cupins estabelecem com os seres humanos, podem ser identificadas três outras relações ecológicas. A sequência em que aparecem no texto é:

X a) sociedade, mutualismo e parasitismo.
b) sociedade, comensalismo e predatismo.
c) sociedade, protocooperação e inquilinismo.
d) colônia, mutualismo e inquilinismo.
e) colônia, parasitismo e predatismo.

16. (FGV-SP) Um biólogo foi a um campo e cavou os ninhos de dois formigueiros distintos, porém da mesma espécie de formigas saúvas. Um dos formigueiros havia sido abandonado pelas formigas há pouco tempo, enquanto o outro formigueiro ainda estava ativo. No formigueiro ativo, observou a presença de uma única espécie de fungo, o qual era cultivado e utilizado pelas formigas como alimento. No formigueiro abandonado, o biólogo observou a presença de fungos de várias espécies, mas não daquela presente no formigueiro ativo. Ao estudar o assunto, verificou que essa espécie de fungo só ocorre quando em associação com essa espécie de formiga.

Sobre essa espécie de formiga e essa espécie de fungo, pode-se dizer que apresentam uma relação conhecida como:

a) mutualismo, na qual o fungo é prejudicado pela presença das formigas, mas estas não são afetadas pela presença do fungo.
b) parasitismo, em que as formigas são as parasitas e dependem do fungo para sua alimentação e reprodução.
c) inquilinismo, no qual os fungos beneficiam-se do ambiente e cuidados proporcionados pelo formigueiro, sem prejuízo às formigas.
X d) mutualismo, em que tanto os fungos quanto as formigas dependem uns dos outros para a sobrevivência.
e) comensalismo, no qual as formigas, comensais, obtêm seu alimento da espécie associada, os fungos, sem que estes sejam prejudicados ou beneficiados.

CAPÍTULO 17

Sucessão ecológica

andersen_oystein/Getty Images

Vista da ilha de Krakatoa. Foto de 2014.

Em 26 e 27 de agosto de 1883, cerca de 75% da ilha de Krakatoa, situada entre as ilhas de Java e Sumatra (Indonésia), foi destruída por causa de uma erupção vulcânica. As populações de todos os seres vivos da ilha foram dizimadas. Essa foi considerada a pior erupção vulcânica da história. Alguns anos depois, no solo do que restou da ilha, já podiam ser encontrados liquens, musgos e samambaias. Com o tempo, as primeiras plantas com flores e alguns insetos e aves colonizaram a ilha. A colonização de uma área por seres vivos e as diversas transformações que ocorrem ao longo do tempo na comunidade constituem uma sucessão ecológica, como veremos neste capítulo.

- *Como uma ilha coberta de lava pode voltar a ter vida?*
- *Como você imagina que devem ser as primeiras espécies a colonizar uma rocha, por exemplo?*

1 Etapas da sucessão

No início do capítulo, vimos que depois da erupção vulcânica não restou nenhum ser vivo na ilha de Krakatoa. A área ficou completamente desabitada. As condições para a sobrevivência de animais e vegetais nessa área eram extremamente desfavoráveis: a iluminação direta provocava altas temperaturas; a fixação dos vegetais nas rochas era muito difícil; toda a água da chuva escorria ou evaporava.

No entanto, mesmo em ambiente tão inóspito, podem se instalar liquens (figura 17.1), trazidos pelo vento. Eles apresentam grande capacidade de reter água e são relativamente autossuficientes, pois realizam fotossíntese e fixam o nitrogênio atmosférico; por isso são capazes de viver apenas com água, ar e alguns sais minerais.

As primeiras espécies a se instalarem em um ambiente sem vida, como os liquens do exemplo anterior, são chamadas espécies pioneiras. E o conjunto de espécies pioneiras que coloniza um ambiente forma uma **comunidade pioneira**.

Aos poucos, a comunidade pioneira modifica as condições iniciais da região (figura 17.2). Continuando com o exemplo, os liquens produzem ácidos que dissolvem partes da rocha e então se formam fendas, onde se acumulam liquens mortos, excretas dos fungos e minerais das rochas. Com isso, forma-se um solo no local. À medida que morrem, os seres pioneiros enriquecem o solo com matéria orgânica em decomposição (húmus). Desse modo, o terreno fica mais rico em sais minerais e melhora a umidade.

Essas novas condições possibilitam a instalação de plantas de pequeno porte, que necessitam de poucos nutrientes para crescer, e atingem rapidamente o período reprodutivo. É o caso, por exemplo, dos musgos, cujos esporos podem ser trazidos pelo vento ou pela água, como vimos no Volume 2. Com o crescimento da população de musgos, aumentam a umidade no local e a camada de solo. Assim, melhoram-se as condições para a instalação e a sobrevivência de plantas herbáceas. O aumento de matéria orgânica possibilita a vida de minhocas e outros animais. Isso leva a novas modificações ambientais, que favorecem o desenvolvimento de plantas maiores e, aos poucos, mais animais também se estabelecem no local.

Portanto, a partir da instalação das espécies pioneiras, a comunidade passa por diversas mudanças. Essa modificação da estrutura da comunidade ao longo do tempo é denominada **sucessão ecológica** (figura 17.2).

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 17.1 Liquens sobre rocha. Parque Nacional da Serra das Confusões, Caracol, PI, em 2015.

Em alguns casos, pode-se chegar a uma comunidade relativamente estável, em equilíbrio com o ambiente físico, que é chamada **comunidade clímax**. Muitos ecologistas, porém, preferem usar a expressão **comunidade madura** (falando em comunidades jovens para referir-se às etapas anteriores da sucessão), pois tal estabilidade é relativa e poderá mesmo nunca ser alcançada se ocorrerem alterações frequentes no ambiente (como queimadas, furacões ou outros fatores).

Em geral, ao longo da sucessão ecológica, ocorre um aumento da biomassa total (quantidade de matéria orgânica na comunidade; figura 17.2). Também se observa inicialmente um aumento progressivo da biodiversidade, pois novas espécies chegam, novos nichos ecológicos são explorados e as teias alimentares tornam-se mais complexas. Mas esse aumento da diversidade é apenas uma tendência, e não ocorre em todos os tipos de sucessão.

A comunidade formada depende do clima e de outros fatores físicos da região. Por exemplo, na Amazônia pode se formar uma floresta tropical; no Canadá, uma floresta temperada ou de pinheiros; no Nordeste do Brasil, uma caatinga. Às vezes, há uma região de transição entre duas comunidades (floresta e campo, por exemplo), em que ocorre uma mescla da flora e da fauna de ambas. Nessa região, há maior diversidade de plantas e de animais e maior competição por espaço e recursos, criando uma "tensão ecológica" entre as comunidades. Por isso, ela é chamada **ecótone** ou **ecótono** (do grego *oíkos* = ambiente; *tonus* = tensão).

Finalmente, deve-se compreender que os acontecimentos descritos até aqui são somente um modelo – na natureza nem sempre a sucessão ocorre da forma descrita. Além disso, embora frequentemente sejam usados apenas o aspecto da vegetação e dos liquens para descrever a sucessão, animais, fungos e microrganismos diversos também fazem parte do processo e interferem nele.

Ainda se discute se a estabilidade da comunidade clímax – isto é, a capacidade de uma comunidade retornar ao estado anterior quando modificada por algum fator ambiental – cresce com o aumento da diversidade de espécies e da complexidade das teias.

Alguns estudos indicam que comunidades complexas são mais resistentes à invasão de outras espécies e a alterações provocadas por fatores ambientais. Por exemplo, estudos mostram que áreas de pradaria que abrigavam maior número de espécies perderam menos variedades vegetais e se recuperaram mais rapidamente após uma seca do que pradarias com menor número de espécies.

Figura 17.2 Exemplo de sucessão ecológica em uma rocha nua. Fotografias tiradas em Ubatuba, SP.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

2 Sucessão primária e secundária

A sucessão que ocorre em uma região totalmente desabitada (sem vida) é chamada **primária**. Ela ocorre, por exemplo, em terrenos cobertos por lava, rochas expostas por recuo de geleiras, ilhas vulcânicas ou dunas de areia em formação.

Mas a sucessão pode ocorrer também em plantações abandonadas, matas destruídas por incêndios, lagos que secaram ou à beira de estradas. Nesses locais, a vegetação foi parcialmente ou mesmo completamente removida, mas o solo não foi destruído e ainda persistem sementes ou esporos. No ambiente do cerrado, por exemplo, as regiões destruídas por incêndios ocasionais são logo recompostas pela sucessão ecológica (figura 17.3).

A sucessão que ocorre em locais já habitados, cujo equilíbrio foi rompido por alguma mudança ambiental, causada ou não pelo ser humano, é chamada **secundária**.

O processo de sucessão secundária pode demorar muito tempo. Em 2007 (revista *Nature*, n. 447, p. 995-998, 21 jun.), um grupo de cientistas brasileiros mostrou que leva pelo menos setenta anos para que uma floresta desmatada para uso agrícola recupere o nível de nitrogênio do solo (a baixa taxa de nitrogênio no solo é um fator limitante para o crescimento da floresta). Mesmo assim, a vegetação formada é menos diversificada que a original e apenas cerca de 70% da biomassa original é recuperada, de acordo com o estudo.

Palê Zuppani/Pulsar Imagens

Figura 17.3 Após uma queimada ocasional, o cerrado se recupera, passando pelo processo de sucessão ecológica secundária. Parque Nacional do Araguaia, TO. Foto de 2010.

Biologia e ambiente

Culturas agrícolas

As plantações que fornecem alimento ao ser humano são ecossistemas simplificados, fora do estágio de clímax. As espécies de plantas foram selecionadas para proporcionar produtividade elevada de alimento (grande número de sementes, como no caso dos cereais e das leguminosas).

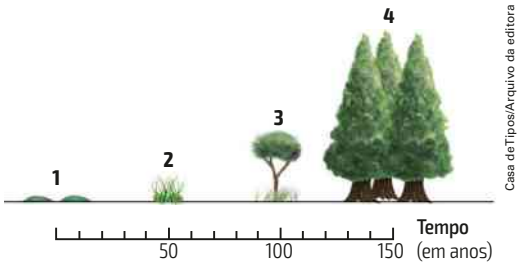
Mas esses sistemas são mais sensíveis ao ataque de pragas que uma floresta ou outra comunidade clímax. Os insetos nocivos à produção são beneficiados não apenas pela ausência de predadores e competidores, mas também pela farta quantidade de alimento disponível. Além disso, eles e os outros organismos parasitas, como os fungos, propagam-se com mais facilidade por causa da proximidade entre as plantas e porque não há vegetais resistentes, que poderiam funcionar como barreira.

Outro problema está nas culturas de propagação assexuada, como a cana-de-açúcar, formadas por organismos geneticamente idênticos. Como há menor variação genética, a população é mais suscetível ao ataque de pragas (quando há diversas variedades genéticas, há maior chance de que alguns indivíduos sejam resistentes e sobrevivam).

Nesses casos, passa a ser necessário o uso de agrotóxicos ou de outras formas de combate às pragas.

Atividades

1. A ilustração a seguir representa os estágios de uma área inicialmente desabitada onde se instala, ao cabo de muitos anos, uma floresta.



a) No estágio indicado pelo número 1 são encontrados apenas liquens e só depois de muito tempo são encontradas pequenas plantas rasteiras. Por que os liquens aparecem primeiro e só depois aparecem as primeiras plantas?

b) Um estudante disse que, ao estudar cadeias alimentares, ele aprendeu que a biomassa diminui ao longo da cadeia. Por isso, ele afirmou que a biomassa também diminui na sequência indicada na figura. Você concorda com o estudante? Por quê?

c) Suponha que essa área agora ocupada pela floresta seja desmatada e transformada em pastagem e, depois de algum tempo, seja abandonada. Com o passar dos anos, o que deve ocorrer no lugar?

2. O tubo digestório de um recém-nascido é estéril. Após algum tempo, depois de passar a comer alimentos sólidos, é possível encontrar nele várias espécies de microrganismos, como bactérias e fungos. Fazendo uma analogia com o conteúdo deste capítulo, que tipo de fenômeno ecológico teria ocorrido nessa mudança?

3. (Uerj) Uma pequena e isolada ilha tropical foi devastada por uma grande queimada, que destruiu todos os seres vivos ali existentes. Quatro anos depois, o solo da ilha apresentava uma cobertura de cianobactérias, briófitas, pteridófitas, além de algumas fanerógamas. Após dez anos, já existiam diferentes representantes de artrópodes e, após sessenta anos, a ilha estava novamente coberta por uma mata densa, abrigando um grande número de espécies animais, incluindo répteis, aves e mamíferos. Nomeie o fenômeno ecológico ocorrido na ilha ao longo desse período e explique a atuação dos primeiros organismos surgidos, após a queimada, na recuperação da biodiversidade local.

4. (UFRJ) Dois agricultores possuem, cada um, 10 hectares de mata virgem, que abriga um grande número de insetos predadores. O primeiro agricultor derruba a mata e planta seus 10 hectares com soja. O segundo derruba 60% de sua mata, deixando 40% preservada na forma de várias ilhas de vegetação nativa e planta, na parte derrubada, milho, soja e feijão, em áreas iguais. Nenhum dos dois usa defensivos agrícolas (inseticidas). Qual dos dois agricultores corre maior risco de ter sua lavoura destruída por pragas? Justifique sua resposta.

5. (UFRGS-RS) Na Floresta Atlântica, várias áreas utilizadas no passado para extração madeireira ou para cultivo foram abandonadas e hoje se encontram em processo de sucessão secundária.
Assinale com V (verdadeiro) ou com F (falso) as afirmações que seguem sobre esse processo.

(///) Ele se caracteriza, em seu início, pela colonização de espécies pioneiras, tais como gramíneas e vassouras.

(///) As espécies dos estágios iniciais e intermediários mantêm-se em locais de estágio avançado da sucessão florestal.

(///) As redes alimentares e as interações entre espécies tornam-se mais complexas com o avanço do processo.

(///) A biodiversidade e a biomassa tendem a um aumento progressivo, mesmo quando a comunidade atingiu o estágio clímax.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

x a) V – F – V – F.
b) F – V – V – F.
c) V – V – F – F.
d) F – F – V – V.
e) V – F – F – V.

6. (UFJF-MG) As queimadas, comuns na estação seca em diversas regiões brasileiras, podem provocar a destruição da vegetação natural. Após a ocorrência de queimadas em uma floresta, é correto afirmar que:

a) com o passar do tempo, ocorrerá sucessão primária.
b) após o estabelecimento dos liquens, ocorrerá a instalação de novas espécies.
c) a comunidade de clímax será a primeira a se restabelecer.
d) somente após o retorno dos animais é que as plantas voltarão a se instalar na área queimada.
x e) a colonização por espécies pioneiras facilitará o estabelecimento de outras espécies.

7. (Enem) Uma pesquisadora deseja reflorestar uma área de mata ciliar quase que totalmente desmatada. Essa formação vegetal é um tipo de floresta muito comum nas margens de rios dos cerrados no Brasil central e, em seu clímax, possui

vegetação arbórea perene e apresenta dossel fechado, com pouca incidência luminosa no solo e nas plântulas.

Sabe-se que a incidência de luz, a disponibilidade de nutrientes e a umidade do solo são os principais fatores do meio ambiente físico que influenciam no desenvolvimento da planta.

Para testar unicamente os efeitos da variação de luz, a pesquisadora analisou, em casas de vegetação com condições controladas, o desenvolvimento de plantas de 10 espécies nativas da região desmatada sob quatro condições de luminosidade: uma sob sol pleno e as demais em diferentes níveis de sombreamento. Para cada tratamento experimental, a pesquisadora relatou se o desenvolvimento da planta foi bom, razoável ou ruim, de acordo com critérios específicos. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Condição de luminosidade

Espécie	Sol pleno	Sombreamento		
		30%	50%	90%
1	Razoável	Bom	Razoável	Ruim
2	Bom	Razoável	Ruim	Ruim
3	Bom	Bom	Razoável	Ruim
4	Bom	Bom	Bom	Bom
5	Bom	Razoável	Ruim	Ruim
6	Ruim	Razoável	Bom	Bom
7	Ruim	Ruim	Ruim	Razoável
8	Ruim	Ruim	Razoável	Ruim
9	Ruim	Razoável	Bom	Bom
10	Razoável	Razoável	Razoável	Bom

Para o reflorestamento da região desmatada,

a) a espécie 8 é mais indicada que a 1, uma vez que aquela possui melhor adaptação a regiões com maior incidência de luz.

X b) recomenda-se a utilização de espécies pioneiras, isto é, aquelas que suportam alta incidência de luz, como as espécies 2, 3 e 5.

c) sugere-se o uso de espécies exóticas, pois somente essas podem suportar a alta incidência luminosa característica de regiões desmatadas.

d) espécies de comunidade clímax, como as 4 e 7, são as mais indicadas, uma vez que possuem boa capacidade de aclimatação a diferentes ambientes.

e) é recomendado o uso de espécies com melhor desenvolvimento à sombra, como as plantas das espécies 4, 6, 7, 9 e 10, pois essa floresta, mesmo no estágio de degradação referido, possui dossel fechado, o que impede a entrada de luz.

8. (Ufscar-SP) A substituição ordenada e gradual de uma comunidade por outra, até que se chegue a uma comunidade estável, é chamada sucessão ecológica. Nesse processo, pode-se dizer que o que ocorre é:

a) a constância de biomassa e de espécies.

b) a redução de biomassa e maior diversificação de espécies.

c) a redução de biomassa e menor diversificação de espécies.

d) o aumento de biomassa e menor diversificação de espécies.

X e) o aumento de biomassa e maior diversificação de espécies.

9. (Ufes) A tradição cultural de algumas tribos indígenas da Amazônia tem influência no tipo de agricultura praticado. Esse consiste na rotação de áreas de plantio, com a derrubada e queima de pequenas áreas de floresta, para o cultivo por um período de quatro anos. Ao final desse período, a baixa fertilidade do solo faz com que essa área seja abandonada, e uma nova área é submetida a esse processo. Após 20 anos, aproximadamente, a primeira área é novamente desmatada, queimada e cultivada. Do ponto de vista da ecologia, essa prática se apoia no conceito de:

a) sucessão primária, em que ocorre a substituição temporal das espécies colonizadoras.

X b) sucessão secundária, em que ocorre a formação de uma floresta com espécies diferentes das da floresta original.

c) competição interespecífica, devido à escassez de nutrientes no solo.

d) exclusão competitiva, em que as espécies mais sensíveis são substituídas pelas mais resistentes.

e) evolução do ecossistema, com o aumento da produtividade primária líquida.

Sugestões de aprofundamento

Para ler:

- **Fique por dentro da Ecologia.** D. Burnie. 2. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2002.
- **Natureza e agroquímicos.** Samuel Murgel Branco. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

Para assistir:

- **Ilha das Flores.** Jorge Furtado. Brasil, 1989. 90 minutos. Documentário que retrata a força do apelo consumista, o desperdício e o preço da liberdade do ser humano como ser individual e responsável pela própria sobrevivência.

UNIDADE 5

Biosfera e poluição

A biosfera é formada pela reunião de todos os ecossistemas do planeta. Todos os seres vivos interagem nos ecossistemas e modificam o ambiente. No entanto, o grau de interferência do ser humano tem se mostrado tão alto nos últimos dois séculos que pode trazer consequências irreversíveis. Algumas das transformações mais danosas do ser humano na Terra estão levando ao esgotamento de recursos, como a água potável e o petróleo; e à poluição da água, do ar e do solo.

CAPÍTULO 18

Ciclos biogeoquímicos

Luis Moura/WPP/Folhapress

Vista da reserva da represa Jaguari/Jacareí, na cidade de Piracaia, SP, em agosto de 2015.

A água é fundamental para os seres vivos, pois possibilita a ocorrência das reações químicas, ajuda a regular a temperatura (absorve ou perde calor sem que sua temperatura varie muito) e facilita o transporte de substâncias. O acesso à água potável é também um dos direitos humanos. A garantia a esse direito, no entanto, vem se tornando cada vez mais difícil, até mesmo em regiões que não sofrem com a falta de água de forma recorrente, como o Sudeste do Brasil. No ano de 2015 foi registrada nessa região a pior crise hídrica desde que os níveis dos reservatórios começaram a ser monitorados, 84 anos antes. O racionamento de água atingiu várias cidades da região para evitar que a água se esgotasse.

- *Como os elementos químicos encontrados nos seres vivos circulam pela natureza?*
- *Que desequilíbrios o ser humano vem causando nos ciclos desses elementos?*
- *O que é efeito estufa?*

1 Ciclo do carbono

As cadeias de carbono que formam as moléculas de açúcar são fabricadas pelos seres autotróficos por meio da fotossíntese, durante a qual ocorre absorção de gás carbônico do ambiente. A absorção do carbono atmosférico pelas plantas e outros seres autotróficos e sua transformação em substâncias orgânicas é chamada **fixação do carbono** ou **sequestro do carbono**. A partir disso, o carbono passa a circular pela cadeia alimentar na forma de moléculas orgânicas. A devolução de gás carbônico ao ambiente físico se dá por meio da respiração de praticamente todos os seres vivos e da decomposição de seus corpos após a morte (figura 18.1).

Boa parte do carbono da Terra está nos compostos minerais – como os carbonatos presentes em depósitos de carapaças de organismos com concha ou esqueleto de carbonato de cálcio – e nos depósitos orgânicos fósseis – como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural. Essas reservas de carbono se originaram de vegetais e de outros organismos que foram soterrados e, durante centenas de milhões de anos, estiveram sujeitos a grandes pressões das camadas de sedimentos. Essas formas de carbono podem voltar à atmosfera pela oxidação lenta em contato com o ar ou pela queima de combustíveis fósseis.

No ambiente aquático, o ciclo do carbono sofre algumas modificações, pois o gás carbônico reage com a água e produz ácido carbônico, que se ioniza em íons bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}):

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow 2H^+ + CO_3^{2-}$$

Essas reações estão em equilíbrio dinâmico, isto é, quando a concentração de gás carbônico aumenta, por exemplo, pelo aumento de oxidações e combustões, a reação se desloca para a direita e aumenta a produção de bicarbonato e carbonato. O equilíbrio dinâmico é um assunto estudado com mais detalhes em Química. Quando a concentração de gás carbônico diminui, por exemplo, pelo aumento da fotossíntese, o sentido da reação se inverte e o gás carbônico é novamente produzido.

Luis Moura/Arquivo da editora

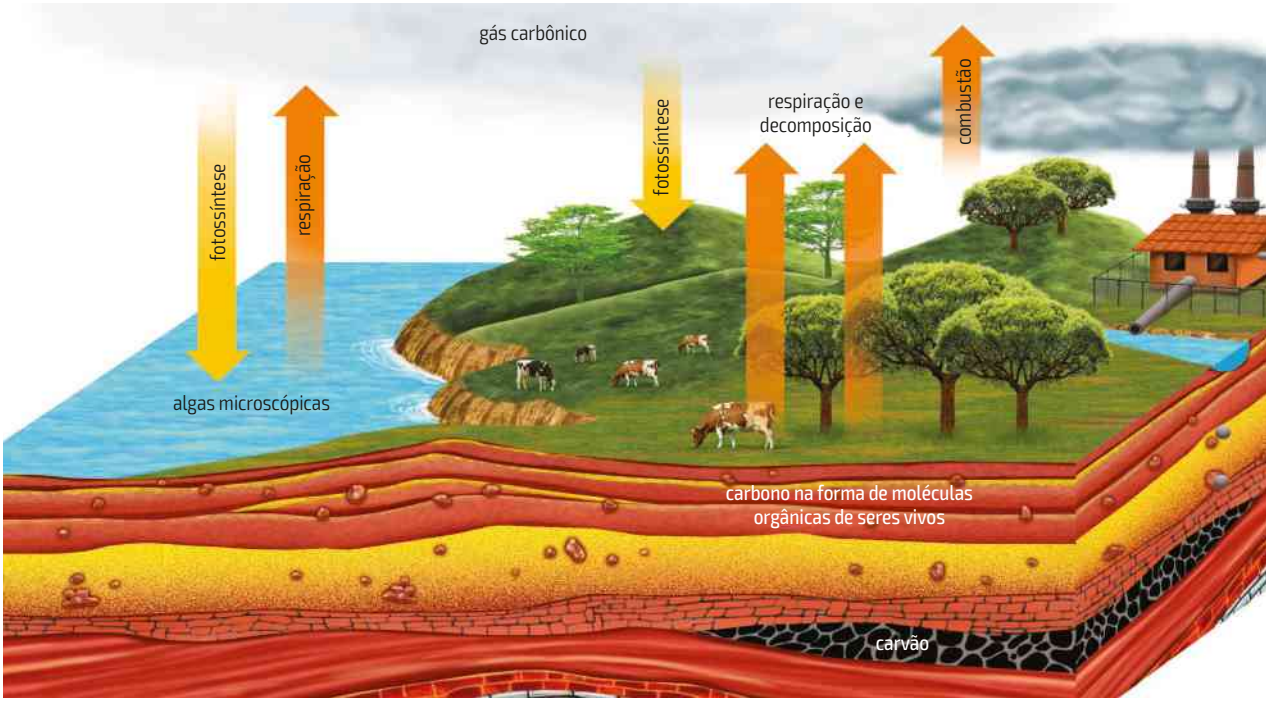
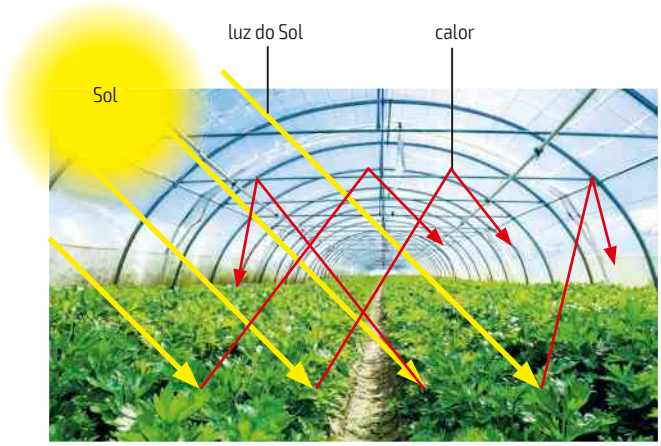


Figura 18.1 Ciclo do carbono. Pela respiração, pela decomposição e pela combustão, o gás carbônico é lançado no ambiente físico. Pela fotossíntese, é retirado. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Efeito estufa

Na figura 18.2 podemos ver uma horta crescendo dentro de uma estufa. A luz do Sol passa pelo vidro e é absorvida pelas plantas e por outros objetos, que se aquecem e emitem raios infravermelhos. Essa emissão é também chamada **radiação**, **onda infravermelha** ou, ainda, **radiação térmica**. Por meio da radiação ocorre a transferência de calor de um corpo para outro, um fenômeno estudado pela Física. A radiação infravermelha não atravessa tão bem o vidro como o faz a luz; isso faz com que o calor fique preso, mantendo a estufa aquecida e ajudando na sobrevivência de certas plantas sensíveis a variações de temperatura.



pixinoo/Shutterstock

Figura 18.2 A estufa mantém as plantas aquecidas.

De maneira semelhante ao que ocorre na estufa de plantas, as radiações do Sol passam pela atmosfera e esquentam a superfície do planeta, que emite raios infravermelhos. Uma parte desses raios atravessa a atmosfera e vai para o espaço. Outra parte é absorvida por certos gases da atmosfera e irradiada de volta para a Terra. Desse modo, a atmosfera mantém a temperatura do planeta nos níveis que conhecemos hoje (figura 18.3).

Esse efeito da atmosfera sobre a temperatura da Terra é chamado **efeito estufa**, pois lembra o que acontece nas estufas de vidro. Ele mantém a temperatura média da Terra em torno de 15 °C e, sem ele, o planeta estaria permanentemente coberto por uma camada de gelo e sua temperatura média estaria em torno de –18 °C.

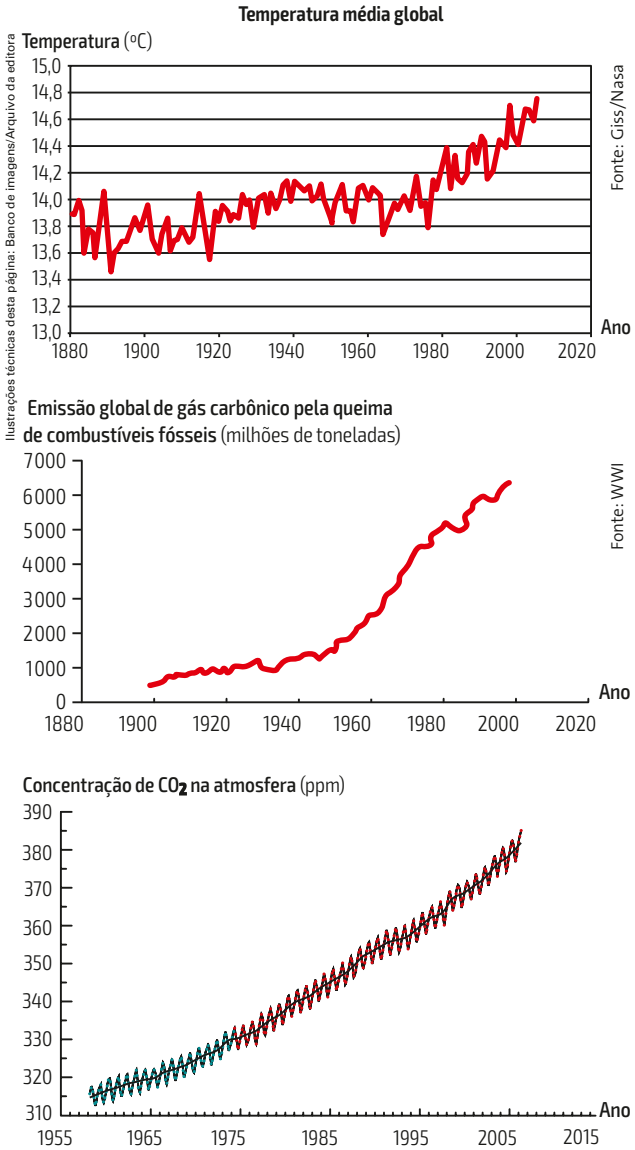
Diversos gases na atmosfera colaboram para o efeito estufa, entre eles: o vapor de água, o gás carbônico, o gás metano, o dióxido de nitrogênio e os clorofluorcarbonos (CFCs). O gás carbônico é o principal gás para o efeito estufa, sendo responsável por cerca de 63% do efeito. O gás metano é produzido na decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas, como ocorre em regiões pantanosas, no cultivo de arroz em terras alagadas e na decomposição do lixo, do esgoto e de florestas submersas em represas. O metano é produzido também na fermentação da comida no intestino de cupins e ruminantes. O dióxido de nitrogênio é produzido na combustão da matéria orgânica, e os clorofluorcarbonos são gases que tiveram aplicações industriais, como veremos adiante no ciclo do oxigênio.

Figura 18.3 Esquema simplificado do efeito estufa. Com o aumento desse fenômeno, uma parte maior dos raios fica retida na atmosfera. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Luis Moura/Arquivo da editora

Aquecimento global: as evidências

Nas últimas décadas, a temperatura média da Terra tem aumentado (figura 18.4). Os cientistas acreditam que isso ocorra devido à intensificação do efeito estufa. Medidas feitas por satélites comprovam que cada vez menos radiação infravermelha escapa para o espaço. Ao mesmo tempo, vem aumentando a quantidade dessa radiação que volta para a Terra. Esse fenômeno é chamado **aquecimento global**.



Fonte: NOAA. Disponível em: <http://celebrating200years.noaa.gov/datasets/mauna/image3b.html>. Acesso em: 6 maio 2016.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 18.4 Observe a correlação entre o aumento da temperatura média do planeta, o aumento da emissão de gás carbônico pela queima de combustíveis fósseis e o aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera. (A variação anual na concentração de gás carbônico deve-se à variação sazonal do crescimento das plantas na primavera, quando a taxa de fotossíntese é maior, e no inverno, quando essa taxa é menor.)

Há fortes evidências de que a intensificação do efeito estufa resulta principalmente do aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera. A produção desse gás pela respiração e pela decomposição deveria ser naturalmente compensada pelo seu consumo na fotossíntese. No entanto, com o aumento da produção de gás carbônico – por causa da queima de combustíveis fósseis (em motores, nas indústrias e nas usinas) e, em menor grau, pelas queimadas de florestas –, a concentração desse gás vem aumentando gradativamente.

Veja nos gráficos da figura 18.4 como o aumento da temperatura média do planeta acompanha o aumento da emissão de gás carbônico pelo ser humano e o aumento da concentração desse gás na atmosfera.

No início da Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no final do século XVIII, a concentração de gás carbônico era de cerca de 280 partes por milhão (ppm). Com a substituição do trabalho artesanal pelo trabalho com o uso de máquinas, a concentração desse gás passou para 315 ppm no final da década de 1950, e em 2015 ultrapassou 400 ppm. A Revolução Industrial teve uma série de consequências ambientais e sociais e é estudada com mais detalhes em História e em Sociologia.

As análises indicam que nove dos dez anos mais quentes (desde 1880) ocorreram no século XXI. A única exceção foi o ano de 1998, devido ao aquecimento provocado pelo El Niño. Esse fenômeno consiste no aquecimento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico, que influencia o clima de todo o planeta. O El Niño e outros fenômenos são estudados com mais detalhes em Geografia e Meteorologia, entre outras disciplinas.

Além do aumento da temperatura, também é maior a rapidez com que esse aumento ocorre: desde 1850, a temperatura vem subindo em velocidade quatro vezes maior do que antes.

Aquecimento global: consequências

Em 2014, um relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*) – elaborado por um comitê de especialistas de vários países, com base na análise de mais de 3 000 artigos científicos – concluiu que muito provavelmente (com probabilidade maior do que 95%) o aquecimento global se deve principalmente ao aumento das emissões de gás carbônico provocadas pelo ser humano.

O aumento da temperatura pode provocar o degelo de parte das calotas polares e o derretimento do gelo das montanhas, o que pode causar a subida do nível dos mares. No século passado, o nível do mar subiu de 10 cm a 20 cm. Se esse aumento continuar, grandes áreas do litoral serão inundadas, muitas ilhas ficarão submersas e milhões de pessoas ficarão desabrigadas. Além disso, o avanço das águas salgadas pode contaminar os reservatórios de água doce mais próximos das regiões costeiras.

O aquecimento do planeta também poderá interferir nos caminhos das correntes de ar e de água e alterar o regime de chuvas, afetando mais profundamente o clima de várias regiões.

Todas essas mudanças climáticas poderão prejudicar a agricultura. Um pequeno aumento da temperatura, por si só, pode até beneficiar algumas culturas agrícolas na América do Norte e na Europa, mas, após um acréscimo de 2 °C, a situação se reverteria.

A seca, a falta de água e os problemas na agricultura poderão fazer com que 600 milhões de pessoas sejam atingidas pela fome e pela desnutrição até o fim deste século. Outro fator negativo seria a proliferação de insetos (que se reproduzem melhor em climas mais quentes) que atacam plantações ou que transmitem microrganismos patogênicos.

Há ainda riscos de perda de biodiversidade. O IPCC calcula que entre 20% e 30% das espécies do planeta podem ser extintas caso as temperaturas globais aumentem até 2,5 °C. Em relação à Amazônia, estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) indicam que o aumento de temperatura, aliado ao desmatamento, transformaria parte da floresta em savana, o que, entre outros efeitos, levaria a uma considerável perda de biodiversidade.

Particularmente atingidos serão os recifes de corais: o aumento da concentração de gás carbônico já está provocando elevação da acidez da água, o que, em conjunto com o aumento da temperatura da água, pode provocar a morte das algas associadas aos corais, resultando na morte desses animais (**figura 18.5**).

Todas essas previsões dependem das emissões de carbono no futuro e de quanto será, de fato, o aumento da temperatura média do planeta. As consequências serão mais graves, por exemplo, se ocorrer um aumento de temperatura que ultrapassar os 2 °C até 2100, mas menos graves se esse aumento se mantiver em, no máximo, 2 °C.

O que fazer?

Em 2005, entrou em vigor o Protocolo de Kyoto (escreve-se também "Kioto" e "Quioto"), em que cerca de 190 países apoiaram a redução da emissão de gás carbônico de 5,2%, em média, em comparação com os níveis de 1990. A maioria dos países desenvolvidos se comprometeu a atingir essa meta entre 2008 e 2012, primeiro período de cumprimento do protocolo.

Em 2015, ocorreu um encontro (COP 21) aprovando um acordo para frear as emissões de gases-estufa e lidar com os impactos das mudanças climáticas devido ao aquecimento global (veja o boxe *Biologia e sociedade* na próxima página).

O Brasil também se comprometeu com metas para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, de modo a compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com a proteção ambiental (veja o boxe na próxima página).

Ethan Daniels/Getty Images

Figura 18.5 O branqueamento dos corais indica que as algas associadas aos pólipos morreram. Sem essa associação, os pólipos perdem grande parte do suprimento nutritivo, o que pode levá-los à morte. Coral do gênero *Sinularia* (colônias com cerca de 15 cm de altura), no mar da Indonésia, próximo da ilha de Sulawesi.

Cúpula do clima de Paris

A cúpula do clima de Paris ocorreu em dezembro de 2015 e ficou conhecida como COP 21. Durante o evento foi aprovado o primeiro acordo de extensão global para brecar as emissões de gases do efeito estufa (GEE), como o CO_2. Atualmente, a concentração de CO_2 na atmosfera é maior do que em qualquer momento nos últimos 800 mil anos, e atingiu um recorde em maio de 2015. Além disso, o acordo visa lidar com os impactos da mudança climática que já vêm sendo observados.

Os mais de 170 países que assinaram o acordo se comprometeram a agir para que a temperatura média do planeta sofra uma elevação muito abaixo de 2 °C; reunindo esforços para que o aumento não ultrapasse 1,5 °C. Os especialistas entendem que acima de 2 °C, os efeitos danosos das altas temperaturas serão irreversíveis, com o aumento de fenômenos climáticos extremos: ondas de forte calor, secas e inundações mais frequentes, ciclones tropicais e furacões mais intensos (figura 18.6), aumento de chuvas torrenciais nas latitudes mais extremas e menos chuvas nas áreas subtropicais.

gkgraphics/Getty Images

Figura 18.6 Rua da cidade estadunidense de Nova Orleans após a passagem do furacão Katrina, em 2005. Ao todo, quase duas mil pessoas morreram e um milhão ficaram desabrigadas.

O grande diferencial desse acordo em relação aos anteriores é que agora o trabalho para controlar o aumento da temperatura é um compromisso assumido pelos países. Ou seja, eles devem adotar um modelo de crescimento que tenha impactos ambientais limitados. Os pontos do acordo serão revisados a cada cinco anos e cada país terá suas metas nacionais de redução na emissão de GEE, as chamadas INDCs (sigla que vem do inglês *Intended Nationally Determined Contributions*). As INDCs levam em conta o cenário social e econômico local de cada país. Assim, somente os países desenvolvidos devem cortar suas emissões de GEE em termos absolutos.

A União Europeia visa uma redução das emissões de GEE de 80% a 95% até 2050 em relação a 1990. No Brasil, a meta é reduzir em 37% as emissões de gases de efeito estufa até 2025 e em 43% até 2030, alcançar 45% de energias renováveis (incluindo hidrelétricas), zerar o desmatamento ilegal em quinze anos e restaurar 12 milhões de hectares de florestas.

Além das medidas tomadas por governos e empresas, cada um de nós pode colaborar para a solução do problema por meio de algumas atitudes, por exemplo.

- Diminuindo o consumo direto de energia: apagando a luz de cômodos vazios, desligando aparelhos que não estejam em uso, optando por lâmpadas e aparelhos mais eficientes.
- Utilizando, sempre que possível, transporte coletivo.
- Mantendo motores bem regulados.
- Reduzindo o volume de lixo: diminuindo o consumo de eletrônicos, vestimenta e de produtos com muitas embalagens.
- Reciclando e reaproveitando materiais, como papel, plástico, alumínio e vidro.
- Economizando água: tomando banhos mais curtos, consertando vazamentos, fechando a torneira ao escovar os dentes e ao lavar a louça; reutilizando água.

Fontes de pesquisa: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/12/veja-repercussao-do-acordo-global-do-clima-aprovado-na-cop-21.html>; <www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151212_acordo_paris_tg_rb>; <www.observatoriodoclima.eco.br/brasil-registra-meta-para-paris/>. Acesso em: 12 abr. 2016.

2 Ciclo do oxigênio

Os átomos de oxigênio estão nos mais variados compostos minerais e orgânicos, mas sua presença na forma de moléculas de oxigênio livre (O_2) – como é usado na respiração e na combustão – depende da fotossíntese. Nessa forma, compõe 21% da atmosfera. O gás oxigênio é produzido durante a construção de moléculas orgânicas pela fotossíntese e consumido quando essas moléculas são oxidadas na respiração ou na combustão. Por isso, o ciclo do oxigênio está muito relacionado ao do carbono (figura 18.7).

Parte do gás oxigênio da atmosfera combina-se com metais do solo (como o ferro) e forma óxidos. Na estratosfera, parte é transformada em ozônio (O_3) pelos raios ultravioleta do Sol com comprimento de onda menor que 200 nm (nanômetros). Na reação inversa, o ozônio é transformado em oxigênio pelos raios ultravioleta com comprimento de onda entre 200 nm e 300 nm. Essas duas reações ($O_2 \leftrightarrow O_3$) permitem que se mantenha na estratosfera uma camada de ozônio em equilíbrio, que funciona como um filtro protetor, retendo cerca de 80% de toda a radiação ultravioleta proveniente do Sol. A maior concentração de ozônio está entre 20 km e 25 km de altitude.

Destruição da camada de ozônio

A camada de ozônio vem sendo destruída por gases liberados por aviões supersônicos (que voam acima de 20 km de altitude), cinzas de vulcões e, principalmente, pelos clorofluorcarbonos (CFCs), grupo de gases usados na indústria, com destaque para CF_2Cl_2 e $CFCl_3$.

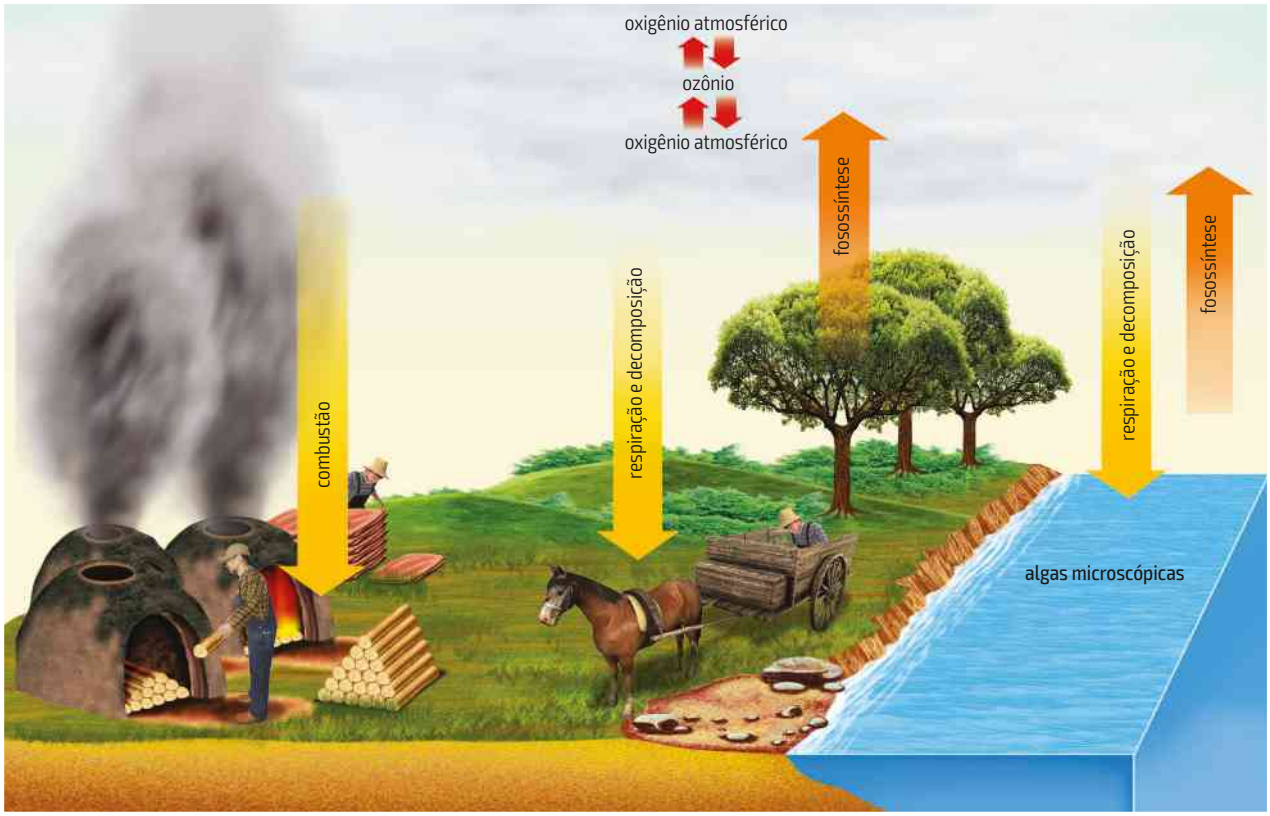
Os CFCs são compostos muito estáveis e sobem lentamente até a estratosfera, onde começam a destruir o ozônio. Além disso, também colaboram para o aumento do efeito estufa, como vimos no ciclo do carbono.

Sob ação dos raios ultravioleta, os CFCs liberam átomos de cloro, que reagem com o ozônio e o transformam em oxigênio. No fim da reação, os átomos de cloro são regenerados e destroem outras moléculas de ozônio. De forma simplificada, esse processo pode ser resumido pelas seguintes equações químicas:

$$CF_2Cl_2 \rightarrow CF_2Cl + Cl$$

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$



Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 18.7 Ciclo do oxigênio. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

O processo de formação de ozônio a partir do oxigênio não é interrompido, mas a velocidade desse processo é inferior à do consumo do ozônio, o que leva a uma redução da sua concentração.

Nos anos 1930, os CFCs foram considerados extremamente práticos, pois eram inertes, não inflamáveis nem tóxicos ou corrosivos, e podiam ser utilizados para dar pressão em embalagens *spray* (aerossóis) de inseticidas, desodorantes, etc. Também foram usados como gás de refrigeração em geladeiras e aparelhos de ar-condicionado, na limpeza de circuitos eletrônicos e na fabricação de espuma de plástico e isopor. Apenas nos anos 1970 ficou comprovada a ação danosa desses gases sobre a camada de ozônio.

Quando aqueles aparelhos precisam de conserto ou viram sucata, esses gases escapam para a atmosfera e o resultado é a formação de "buracos" na camada de ozônio, que correspondem a regiões em que essa camada é mais fina, pelas quais os raios ultravioleta passam em maior quantidade.

Algumas medições revelaram uma destruição maior do ozônio – chegando até a 50% – sobre a Antártida, mas trata-se de um fenômeno cíclico (figura 18.8). A massa de ar com gases que destroem o ozônio permanece estacionária em certas estações do ano, piorando a situação. Com a mudança de estação, o ar é renovado e a destruição diminui.

O aumento da passagem de radiação ultravioleta provocado pela progressiva destruição da camada de ozônio pode reduzir a fotossíntese – comprometendo as colheitas – e destruir o fitoplâncton – provocando desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos.

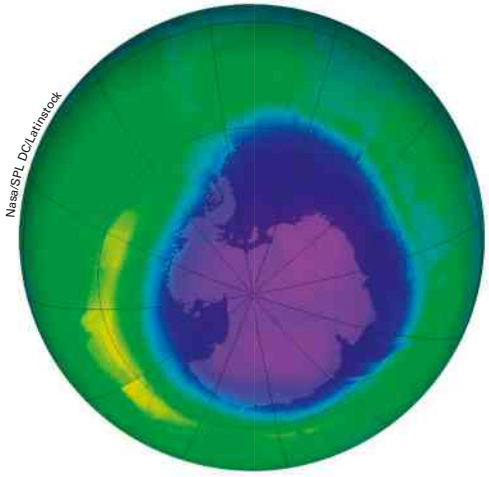


Figura 18.8 Imagem de satélite do buraco na camada de ozônio sobre a Antártida em 25 de setembro de 2010. O nível de ozônio é menor nas áreas violeta e aumenta na sequência azul e verde (imagem colorizada por computador).

No ser humano, esse tipo de radiação aumenta a incidência de câncer de pele (por causa do aumento da taxa de mutações), de catarata (por lesões no cristalino) e de prejuízos ao sistema imunológico. Assim, dada a gravidade do problema, foram feitas várias reuniões internacionais para decidir a redução da produção e do consumo de CFCs e sua substituição por gases que não atacam a camada de ozônio. Em setembro de 1987 foi assinado o Protocolo de Montreal e, desde que entrou em vigor, as emissões de CFCs diminuíram 97% nos países industrializados e 84% nos demais.

Além de não produzir mais CFCs, em 2007 o Brasil proibiu sua importação e o uso do herbicida brometo de metila, que também destrói a camada de ozônio.

Os últimos estudos confirmam que a expansão do buraco na camada de ozônio está contida. Espera-se que a camada de ozônio retorne, aos poucos, ao seu nível normal. No entanto, alguns dos gases usados nessa substituição (HFC, HCFC-22, etc.), assim como os CFCs, também intensificam o efeito estufa.

3 Ciclo da água

Cerca de 71% da superfície da Terra é coberta por água em estado líquido. Do total desse volume, aproximadamente 97% está nos oceanos. Cerca de 2% da água do planeta está no estado sólido, nas grandes massas de gelo nas regiões próximas aos polos e no topo de montanhas muito elevadas. A água do mar possui cerca de 3,5% de sais minerais. Essa salinidade dificulta o aproveitamento para o consumo humano. No caso da água na forma de gelo, é a localização que dificulta esse aproveitamento.

A água doce (com concentração de sais inferior a 0,5 g/L) no estado líquido está nos rios, nos lagos, nas represas e infiltrada no solo e nas rochas, e corresponde a cerca de 1% do total de água do planeta. A água na atmosfera corresponde a cerca de 0,001% do total.

A energia solar desempenha papel importante no **ciclo da água** ou **ciclo hidrológico** (do grego *hydror* = água; figura 18.9). Graças a ela, a água em estado líquido sofre constante evaporação e penetra na atmosfera em forma de vapor. Nas camadas mais altas e mais frias da atmosfera, o vapor de água se condensa e forma as nuvens. As gotas de água nas nuvens são tão pequenas que a turbulência e as correntes de

ar mantêm-nas flutuando. Quando várias gotas se juntam, elas podem ficar muito pesadas para se manter no ar e se precipitam na forma de chuva, neve ou granizo.

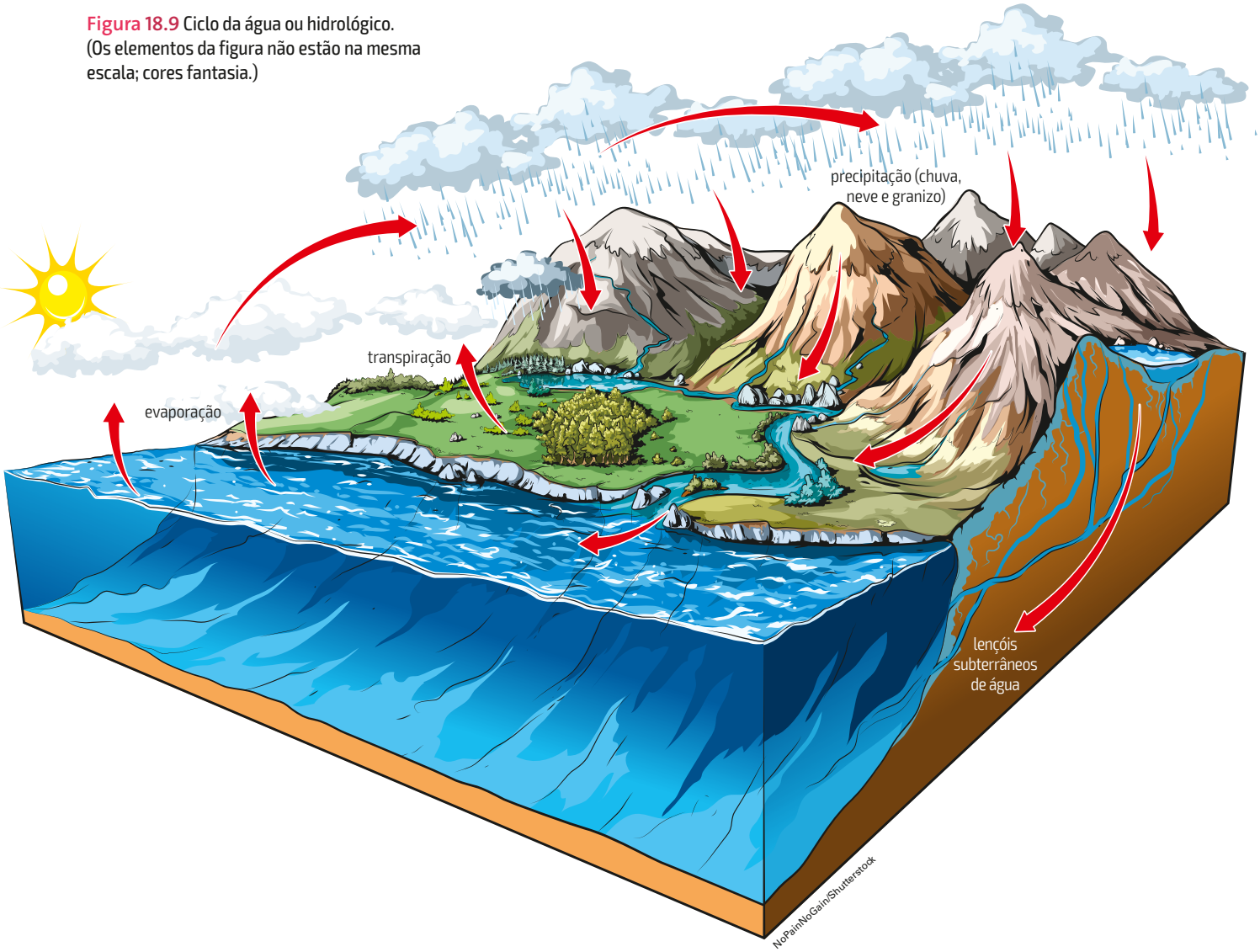
Por escoamento superficial, a água pode formar rios e lagos e voltar para o oceano. Pode também infiltrar-se no solo e formar os **lençóis subterrâneos** ou **freáticos**, ou imensos reservatórios subterrâneos de água, os **aquíferos**. Essa água passa aos poucos para rios, lagos e mares. Ela pode sair também em alguns pontos da superfície do solo e formar as fontes de água, ou ser retirada pelas raízes das plantas ou dos poços cavados pelo ser humano.

Há dois tipos de ciclo da água:

- **curto** ou **pequeno** – que ocorre pela evaporação da água de oceanos, rios, mares e lagos e sua volta à superfície da Terra na forma de chuva e neve;
- **longo** ou **grande** – aquele em que a água passa pelo corpo dos seres vivos antes de voltar ao ambiente. Ela é retirada do solo pelas raízes dos vegetais e utilizada na fotossíntese e pode, pela cadeia alimentar, ir para o corpo dos animais. A água volta para a atmosfera por meio da transpiração ou da respiração e retorna ao solo por meio da urina, das fezes ou da decomposição das folhas e dos cadáveres. O conjunto de evaporação e transpiração é chamado de evapotranspiração.

O ser humano vem consumindo grandes quantidades de água doce de rios, lagos e lençóis subterrâneos. Além disso, quando a vegetação natural é removida, o escoamento da água e a erosão do solo aumentam, e eleva-se o risco de inundações e deslizamentos de terra. O consumo excessivo e a poluição aceleram a escassez de água limpa.

Figura 18.9 Ciclo da água ou hidrológico. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)



A escassez de água

O petróleo e o carvão mineral são recursos naturais não renováveis, ou seja, levaram milhões de anos para se formar e, por serem muito utilizados, em algum momento se esgotarão. Por outro lado, a água doce, o ar, as plantas e os animais utilizados pelo ser humano são considerados recursos naturais renováveis, pois podem ser repostos por processos naturais em uma escala humana de tempo – desde que não sejam usados mais rapidamente do que são repostos.

Em 2012, cerca de 11% da população mundial não tinha acesso à água potável segura. Parte desse problema vem sendo resolvido com a construção de poços e cisternas, mas um fator complicador é que as reservas de água estão cada vez mais poluídas por resíduos industriais e por esgoto doméstico lançados sem tratamento.

Em regiões próximas ao mar em que a água doce é escassa, pode-se retirar o excesso de sal da água do mar, de modo que ela possa ser usada em residências, na agricultura ou na indústria. Esse processo, chamado dessalinização (que usa técnicas estudadas na Química), é bastante comum no Oriente Médio, por exemplo, mas ainda é custoso e envolve muito gasto de energia.

Por isso, de forma geral devemos considerar a água doce um recurso limitado e caro. É preciso buscar formas eficientes de usá-la, tanto para irrigação na agricultura, quanto em processos industriais. Manter a água limpa também é muito importante e, para isso, é preciso investir em saneamento e no controle da poluição.

Cada um de nós, começando em casa, também pode ajudar a preservar este precioso recurso – essa é uma questão de cidadania! A maneira mais fácil é evitar o desperdício. Por exemplo, uma pessoa que demora 10 min para escovar os dentes e fazer a barba deixando a torneira aberta gasta 24 L de água por dia. Se a torneira for aberta apenas quando necessário, gastará, em média, 2 L. Veja outras medidas que devemos tomar:

- Consertar imediatamente vazamentos de torneiras, descargas e canos.
- Não deixar a torneira aberta sem necessidade ao lavar mãos nem louças. Procurar ensaboar primeiro todas as louças e depois enxaguar tudo de uma vez só.
- Manter a válvula de descarga regulada para não lançar muita água. O ideal é que o vaso sanitário tenha uma caixa acoplada, que descarrega menos litros por vez. E não usar o vaso sanitário como lata de lixo.
- Usar balde em vez de mangueira para lavar carros e limpar calçadas.
- Não jogar lixo em rios ou cursos de água.

Fontes de pesquisa: TUNDISI, J. G. *Água no século XXI:* enfrentando a escassez. São Paulo: Rima, 2005; VILLIERS, M. de. *Água*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

4 Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é um elemento químico fundamental para o ser vivo, pois entra na constituição de substâncias importantes, como as proteínas e os ácidos nucleicos. Entretanto, apesar de 78% da atmosfera ser constituída de gás nitrogênio (N_2, muito estável), a maioria dos seres vivos não pode utilizá-lo diretamente. Os vegetais só conseguem usá-lo na forma de amônia (NH_3) ou de nitrato (NO_3^-). Os animais aproveitam o nitrogênio na forma de aminoácidos.

A seguir, estudaremos o ciclo do nitrogênio dividido nas seguintes etapas: **fixação**, **amonificação**, **nitrificação** e **desnitrificação**.

Fixação do nitrogênio

A transformação do gás nitrogênio em amônia é chamada **fixação do nitrogênio** (figura 18.10). Ela é feita por algumas bactérias que conseguem utilizar o nitrogênio atmosférico na produção de amônia utilizando uma enzima especial: a **nitrogenase**. Esse processo, que envolve um custo energético muito alto, pode ser resumido pela seguinte equação química:

$$2\,N_2 + 6\,H_2O \rightarrow 4\,NH_3 + 3\,O_2$$

A amônia pode, então, ser incorporada às substâncias orgânicas ao combinar-se com o gás carbônico para formar aminoácidos.

As bactérias fixadoras podem ser encontradas no solo e na água e incluem os gêneros *Nostoc*, *Anabaena* (essas duas são cianobactérias), *Azotobacter* e *Clostridium*.

Há também as bactérias do gênero *Rhizobium*, que vivem nas raízes das plantas leguminosas (feijão, soja, ervilha, amendoim, alfafa, etc.). Examinando essas raízes, encontramos pequenos nódulos com milhões de bactérias fixadoras. Uma parte do nitrogênio fixado é fornecida à leguminosa e o excesso é liberado no solo na forma de amônia. Portanto, essas bactérias funcionam como adubo vivo ao fornecer nitrogênio à planta, que lhes dá alimento (como vimos no Capítulo 16, essa troca de favores entre dois seres vivos de espécies diferentes é chamada mutualismo). A associação entre essas bactérias e as células das raízes de leguminosas é chamada **bacteriorriza** (do grego *rhiza* = raiz).

Amonificação

Uma parte da amônia do solo origina-se da fixação do nitrogênio. Outra parte é formada a partir da decomposição das proteínas, dos ácidos nucleicos e dos resíduos nitrogenados presentes em cadáveres e excretas. Realizado por bactérias, fungos e outros decompositores, esse processo é chamado **amonificação** (figura 18.10).

Essa decomposição é o processo pelo qual as bactérias e os fungos obtêm energia, ou seja, é consequência da respiração celular desses organismos.

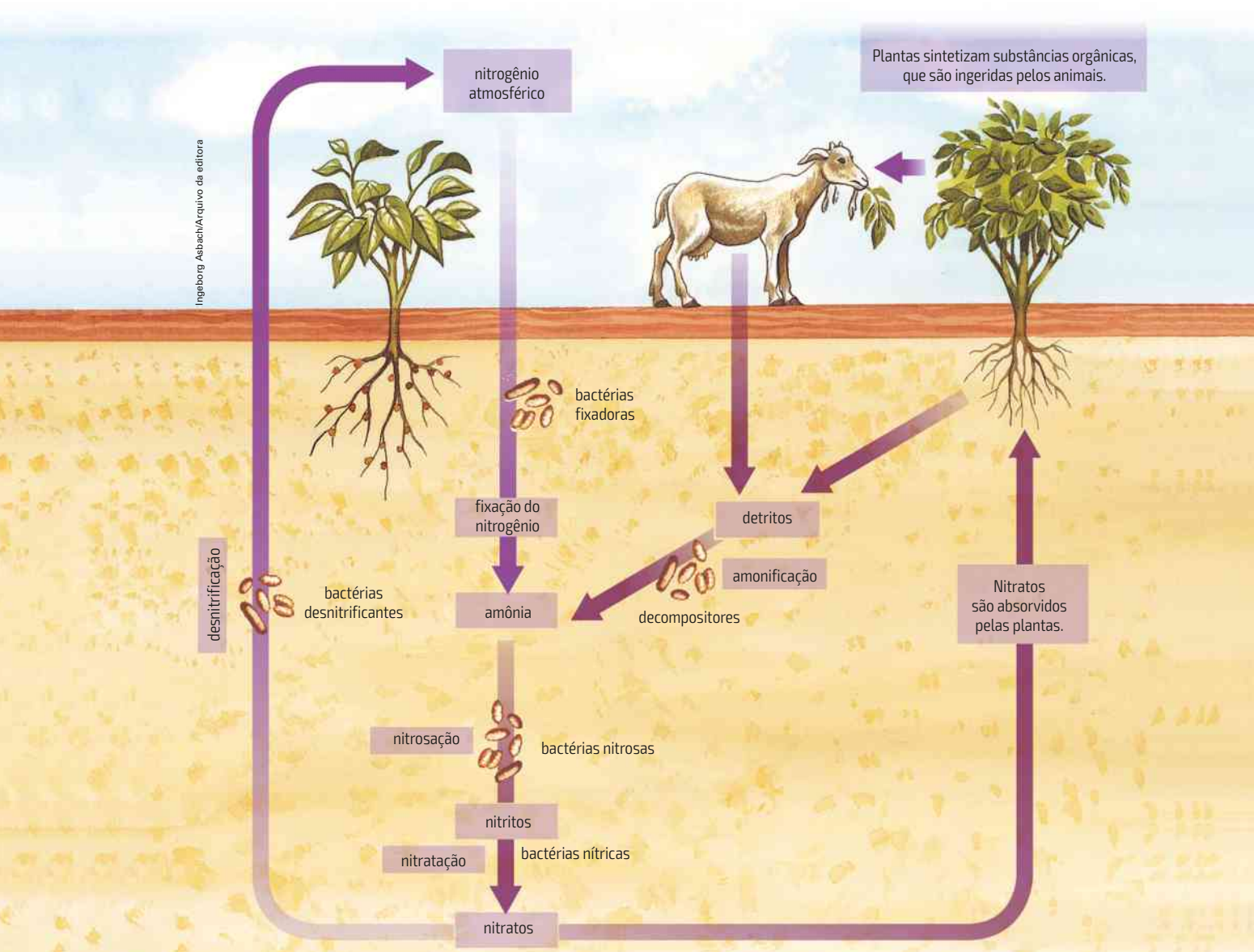


Figura 18.10 Ciclo do nitrogênio. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Nitrificação

O fenômeno de transformação da amônia em nitrato é chamado **nitrificação** e ocorre em duas etapas (reveja a figura 18.10):

- **nitrosação** – a maior parte da amônia não é absorvida pelas plantas, mas é oxidada em nitrito pelas **bactérias nitrosas**. Essas bactérias, que pertencem aos gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* e *Nitrosolobus*, usam a energia liberada nessa oxidação para produzir compostos orgânicos (ou seja, são quimiossintéticas). O processo pode ser resumido assim:

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \rightarrow 2H^+ + 2\,NO_2^- + 2\,H_2O + \text{energia}$$

- **nitratação** – os nitritos formados pelas bactérias nitrosas são liberados no solo e oxidados por outras bactérias quimiossintéticas chamadas **nítricas** (do gênero *Nitrobacter*); nessa oxidação, formam-se os nitratos. Esse processo pode ser resumido assim:

$$2\,NO_2^- + O_2 \rightarrow 2\,NO_3^- + \text{energia}$$

Os nitratos são absorvidos e utilizados pelas plantas na síntese de suas proteínas e de seus ácidos nucleicos. Pela cadeia alimentar, passam para o corpo dos animais.

Desnitrificação

No solo, além das bactérias de nitrificação, existem outros tipos de bactérias, como a *Pseudomonas denitrificans*. Na ausência de oxigênio atmosférico, essas bactérias usam o nitrato para oxidar compostos orgânicos (respiração anaeróbia) e produzir energia. Por esse processo, chamado **desnitrificação**, uma parte dos nitratos do solo é transformada novamente em gás nitrogênio e volta para a atmosfera (reveja a figura 18.10); com isso, fecha-se o ciclo e estabiliza-se a taxa de nitrato do solo.

Fertilização do solo

Embora no solo haja uma quantidade limitada de nitratos, sais de amônia e de outros minerais necessários às plantas, nos ecossistemas naturais (uma floresta, por exemplo) a morte e a decomposição dos organismos promovem a rápida reciclagem desses elementos.

Nas culturas agrícolas, uma parte dos vegetais colhidos é consumida nas cidades; portanto, sai do ecossistema e impede a reciclagem dos sais. Para compensar isso, são aplicados no solo adubos ou fertilizantes sintéticos ricos em nitrogênio, fósforo, potássio e outros elementos. Os fertilizantes à base de nitrogênio podem ser produzidos industrialmente por meio de uma fixação artificial, com a transformação do nitrogênio do ar em amônia sob condições especiais de alta temperatura e pressão.

Outra maneira de devolver ao solo os sais de nitrogênio é por meio da **rotação de culturas**, prática agrícola em que se alterna o plantio de arroz, milho, trigo, etc., com plantas leguminosas (figura 18.11). Como vimos, as plantas leguminosas estão associadas a bactérias fixadoras, que ajudam a repor os sais de nitrogênio que os outros vegetais retiram do solo. Além disso, após a colheita, folhas e ramos das leguminosas podem servir de adubo natural (enriquecendo o solo com compostos nitrogenados). É a chamada **adubação verde**.

É preciso tomar cuidado ao usar fertilizantes, pois o excesso de nitratos pode ser levado para ambientes aquáticos e causar desequilíbrios ecológicos, como veremos no Capítulo 20. Outro problema é a queima de combustíveis fósseis em altas temperaturas, que pode formar óxidos de nitrogênio pela combinação dos gases oxigênio e nitrogênio. Esses óxidos podem formar ácido nítrico ao reagirem com a água, ocasionando a chuva ácida, que também veremos no Capítulo 20. Além disso, alguns óxidos de nitrogênio contribuem para a destruição da camada de ozônio e podem irritar os olhos e provocar danos ao sistema respiratório.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 18.11 Em algumas regiões, planta-se milho (primeira foto; cerca de 2 m de altura) em uma estação do ano e feijão (segunda foto; cerca de 50 cm de altura) ou soja em outra: é a rotação de culturas, que ajuda a diminuir o esgotamento do solo.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

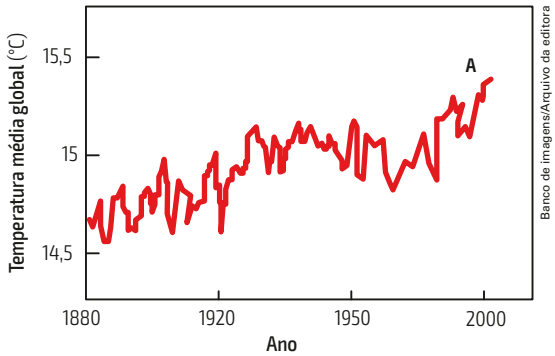
Atividades

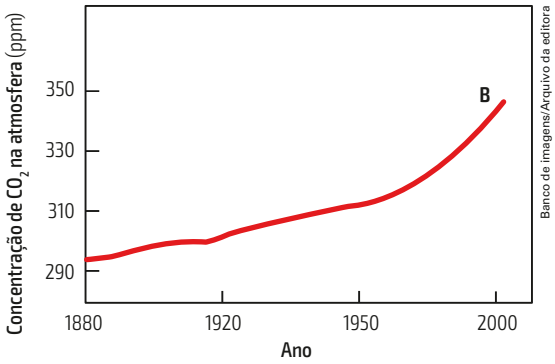
1. Depois de colher o arroz que plantou, um agricultor resolveu plantar feijão no mesmo terreno, como forma de melhorar a fertilidade do solo. Ele está agindo de maneira certa? Justifique sua resposta.

2. No fim do ano 2000, os 120 mil habitantes de Punta Arenas, a cidade mais ao sul do Chile, foram avisados para não saírem de casa entre 11h e 15h. Caso tivessem de sair, deveriam usar óculos escuros, protetor solar, roupa de mangas compridas e chapéu. Explique o que pode ter acontecido.

3. (Unicamp-SP) O aquecimento global é assunto polêmico e tem sido associado à intensificação do efeito estufa. Diversos pesquisadores relacionam a intensificação desse efeito a várias atividades humanas, entre elas a queima de combustíveis fósseis pelos meios de transporte nos grandes centros urbanos.

a) Explique que relação existe entre as figuras A e B e como elas estariam relacionadas com a intensificação do efeito estufa.





Figuras adaptadas de Karen Arms & Pamela S. Camp, Biology, Saunders College Publishing, 1995, p. 1 108.

b) Por que a intensificação do efeito estufa é considerada prejudicial para a Terra?

c) Indique uma outra atividade humana que também pode contribuir para a intensificação do efeito estufa. Justifique.

4. (UFG-GO) A ação inadequada do homem sobre o ecossistema pode prejudicar os ciclos biogeoquímicos de alguns elementos, como o nitrogênio, cuja disponibilidade é limitada no planeta Terra.

a) Explique um mecanismo que permite a fixação biológica do nitrogênio.

b) Apresente um exemplo dessa ação inadequada e explique sua consequência sobre o ciclo do nitrogênio.

5. (Enem) O aquecimento global, ocasionado pelo aumento do efeito estufa, tem como uma de suas causas a disponibilização acelerada de átomos de carbono para a atmosfera. Essa disponibilização acontece, por exemplo, na queima de combustíveis fósseis, como a gasolina, os óleos e o carvão, que libera o gás carbônico (CO_2) para a atmosfera. Por outro lado, a produção de metano (CH_4), outro gás causador do efeito estufa, está associada à pecuária e à degradação de matéria orgânica em aterros sanitários.

Apesar dos problemas causados pela disponibilização acelerada dos gases citados, eles são imprescindíveis à vida na Terra e importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico, porque, por exemplo, o:

a) metano é fonte de carbono para os organismos fotossintetizantes.

b) metano é fonte de hidrogênio para os organismos fotossintetizantes.

c) gás carbônico é fonte de energia para os organismos fotossintetizantes.

X d) gás carbônico é fonte de carbono inorgânico para os organismos fotossintetizantes.

e) gás carbônico é fonte de oxigênio molecular para os organismos heterotróficos aeróbios.

6. (Fuvest-SP) O agravamento do efeito estufa pode estar sendo provocado pelo aumento da concentração de certos gases na atmosfera, principalmente do gás carbônico.

Dentre as seguintes reações químicas:

I. queima de combustíveis fósseis;

II. fotossíntese;

III. fermentação alcoólica;

IV. saponificação de gorduras.

Produzem gás carbônico, contribuindo para o agravamento do efeito estufa:

a) I e II

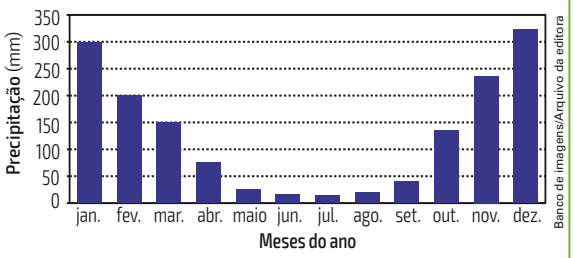
X b) I e III

c) I e IV

d) II e III

e) II e IV

7. (Enem) Em uma área observa-se o seguinte regime pluviométrico:



Os anfíbios são seres que podem ocupar tanto ambientes aquáticos quanto terrestres. Entretanto, há espécies de anfíbios que passam todo o tempo na terra ou então na água. Apesar disso, a maioria das espécies terrestres depende de água para se reproduzir e o faz quando esta existe em abundância. Os meses do ano em que, nessa área, esses anfíbios terrestres poderiam se reproduzir mais eficientemente são de:

a) setembro a dezembro.
X b) novembro a fevereiro.
c) janeiro a abril.
d) março a julho.
e) maio a agosto.

8. (PUC-RS) Se o prefeito eleito de sua cidade prometeu desenvolver um programa com o objetivo de contribuir para a diminuição do efeito estufa em nível local, isso significa que ele pretende incentivar a adoção de medidas de controle da poluição atmosférica através da redução da emissão de _____ e _____ pelas atividades humanas.

a) clorofluorcarbonetos e óxido sulfúrico
b) clorofluorcarbonetos e monóxido de carbono
c) dióxido de carbono e óxido sulfúrico
X d) dióxido de carbono e metano
e) monóxido de carbono e metano

9. (Fatec-SP) Se forem reflorestadas várias áreas ao redor e dentro de grandes centros urbanos, podem-se combater os poluentes liberados pela queima de combustíveis fósseis. O dióxido de carbono é um dos poluentes mais abundantes, e sua remoção envolve a elaboração de um produto por um evento metabólico. Assinale a alternativa que apresenta, respectivamente, o produto e o fenômeno metabólico do processo descrito.

X a) carboidrato e fotossíntese
b) proteína e fermentação
c) carboidrato e fermentação
d) proteína e fotossíntese
e) oxigênio e respiração aeróbica

10. (Fuvest-SP) A recente descoberta de uma vasta região de mar descongelado no polo norte é um exemplo dos efeitos do aquecimento global pelo qual passa o planeta. Alarmados com a situação, alguns países industrializados elaboraram uma carta de intenções em que se comprometem a promover amplos reflorestamentos, como uma estratégia para reduzir o efeito estufa e conter o aquecimento global. Tal estratégia se baseia na hipótese de que o aumento das áreas de floresta promoverá maior:

a) liberação de gás oxigênio, com aumento da camada de ozônio e redução da radiação ultravioleta.
X b) retenção do carbono na matéria orgânica das árvores, com diminuição do gás carbônico atmosférico responsável pelo efeito estufa.
c) disponibilidade de combustíveis renováveis e, consequentemente, menor queima de combustíveis fósseis, que liberam CFC (clorofluorcarbono).
d) absorção de CFC, gás responsável pela destruição da camada de ozônio.
e) sombreamento do solo, com resfriamento da superfície terrestre.

11. (Vunesp-SP) Dentre as várias formas de interferência do homem no ambiente natural, pode ser citada a destruição da camada de ozônio. Uma das consequências previsíveis advindas desse fenômeno para a humanidade seria:

a) o aumento da temperatura da Terra, o que derreteria as calotas polares, elevaria o nível dos oceanos, submergindo cidades costeiras.
b) o aumento da concentração de CO, que tem a propriedade de combinar-se com a hemoglobina do sangue de maneira estável, prejudicando assim o transporte de oxigênio.
c) o aumento da concentração de dióxido de enxofre, que, em contato com ar úmido, se oxida e se transforma em ácido sulfúrico, que ataca mármores, paredes de edifícios, carros, etc.
d) a ocorrência frequente de inversão térmica, levando a aumentos apreciáveis das taxas de poluentes do ar.
X e) o aumento na incidência da radiação ultravioleta proveniente do Sol, o que provocaria, muito provavelmente, um acréscimo da taxa de mutação gênica e casos de câncer de pele.

12. (UnB-DF) Uma prática correta na agricultura é alternar a plantação de culturas que empobrecem o solo com plantações de soja ou de feijão. Isso porque as raízes dessas leguminosas se associam a bactérias do gênero *Rhizobium*, que fixam o N_2 do ar. A partir dessa informação, indique as opções corretas. a, c, d.

a) A participação do *Rhizobium* é importante porque as plantas não absorvem N_2 diretamente do ar.
b) O solo apresenta outras bactérias que o enriquecem, como as nitrificantes, que transformam nitrato em amônia.
c) A principal participação do metabolismo humano no ciclo do nitrogênio é representada pela absorção de compostos orgânicos nitrogenados e pela excreção de ureia.
d) Uma forma artificial de se aumentar a concentração de nitrogênio no solo é a adição de adubos químicos ricos em nitrato.

13. (PUC-RS) Considerando as informações acerca das alterações ambientais, foco do Protocolo de Kyoto:

I. A elevação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera é uma das unidades de medida utilizadas na previsão da dimensão do efeito estufa no planeta.
II. O gás carbônico é considerado um dos principais poluentes responsáveis pelo aquecimento global, e sua concentração na atmosfera é cada vez mais elevada.
III. O aumento progressivo de CO_2 irá elevar a temperatura do planeta, preservando apenas as regiões polares.
IV. Com o crescimento das taxas de emissão de CO_2, haverá elevação da temperatura do planeta e, consequentemente, redução do nível do mar, causada pela evaporação.

Estão corretas apenas as afirmativas:

X a) I e II.
b) I e III.
c) II e III.
d) II e IV.
e) III e IV.

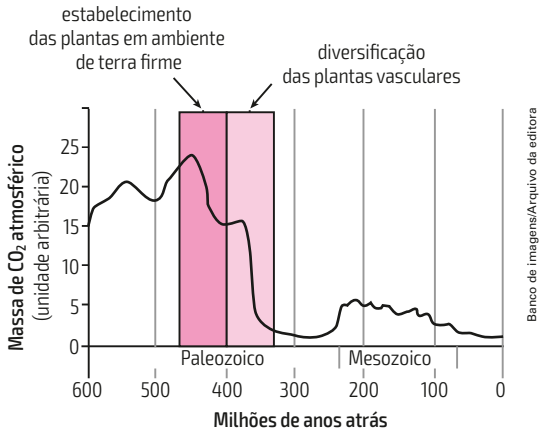
14. (Unaerp-SP)

I. O CO_2 atmosférico é liberado pelos organismos animais e vegetais.
II. O CO_2 atmosférico é assimilado pelos organismos vegetais.
III. O carbono dos organismos animais e vegetais mortos é transferido para o CO_2 atmosférico.
IV. O carbono dos organismos vegetais passa a fazer parte dos organismos animais.

Os itens acima, referentes ao ciclo do carbono na natureza, correspondem, respectivamente, aos seguintes processos:

X a) respiração, fotossíntese, decomposição e nutrição.
b) respiração, fotossíntese, nutrição e decomposição.
c) fotossíntese, respiração, decomposição e nutrição.
d) fotossíntese, respiração, nutrição e decomposição.
e) decomposição, fotossíntese, respiração e nutrição.

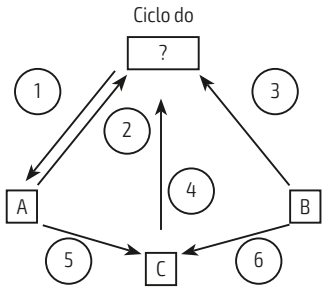
15. (Fuvest-SP) O gráfico mostra a variação na concentração de gás carbônico atmosférico (CO_2), nos últimos 600 milhões de anos, estimada por diferentes métodos.



A relação entre o declínio da concentração atmosférica de CO_2 e o estabelecimento e a diversificação das plantas pode ser explicada, pelo menos em parte, pelo fato de as plantas:

a) usarem o gás carbônico na respiração celular.
b) transformarem átomos de carbono em átomos de oxigênio.
c) resfriarem a atmosfera evitando o efeito estufa.
d) produzirem gás carbônico na degradação de moléculas de glicose.
X e) imobilizarem carbono em polímeros orgânicos, como celulose e lignina.

16. (UFPB) Em busca de uma sustentabilidade do planeta, procuram-se diferentes fontes de energia alternativas mais eficientes e menos poluentes, a exemplo da produção do etanol a partir da cana-de-açúcar. Essa produção de combustível está ligada diretamente a um dos ciclos biogeoquímicos, ilustrado na figura a seguir: F, V, F, V, V



Com base nessa figura, julgue os itens a seguir:

(///) O ciclo representado é o do oxigênio.
(///) A letra C representa os decompositores.
(///) A transpiração está representada na etapa 4.
(///) A respiração está representada nas etapas 2 e 3.
(///) O acúmulo do carboidrato utilizado na produção de etanol está relacionado à etapa 1.

17. (Fuvest-SP) Uma das consequências do "efeito estufa" é o aquecimento dos oceanos. Esse aumento de temperatura provoca:

X a) menor dissolução de CO_2 nas águas oceânicas, o que leva ao consumo de menor quantidade desse gás pelo fitoplâncton, contribuindo, assim, para o aumento do efeito estufa global.

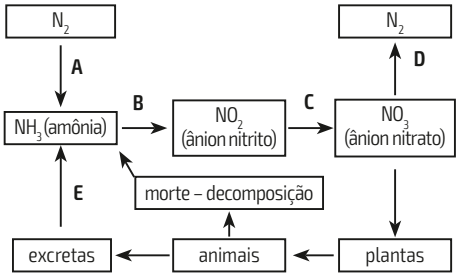
b) menor dissolução de O_2 nas águas oceânicas, o que leva ao consumo de maior quantidade de CO_2 pelo fitoplâncton, contribuindo, assim, para a redução do efeito estufa global.

c) menor dissolução de CO_2 e O_2 nas águas oceânicas, o que leva ao consumo de maior quantidade de O_2 pelo fitoplâncton, contribuindo, assim, para a redução do efeito estufa global.

d) maior dissolução de CO_2 nas águas oceânicas, o que leva ao consumo de maior quantidade desse gás pelo fitoplâncton, contribuindo, assim, para a redução do efeito estufa global.

e) maior dissolução de O_2 nas águas oceânicas, o que leva à liberação de maior quantidade de CO_2 pelo fitoplâncton, contribuindo, assim, para o aumento do efeito estufa global.

18. (UFSC) O esquema abaixo mostra de maneira simplificada o ciclo do nitrogênio na natureza. As letras **A**, **B**, **C**, **D** e **E** indicam processos metabólicos que ocorrem neste ciclo.



Sobre este ciclo, identifique e some o que for correto.

(01) O processo mostrado em **A** é realizado somente por bactérias simbiontes que vivem no interior das raízes de leguminosas.

(02) As mesmas bactérias que realizam o processo **A**, realizam os processos **D** e **E**.

(04) O esquema mostra que produtos nitrogenados originados de animais ou vegetais podem ser reaproveitados no ciclo.

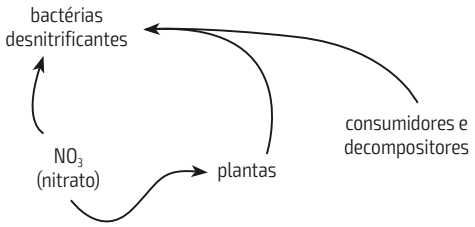
(08) O processo mostrado em **D** constitui uma etapa fundamental no ciclo, chamada de fixação do nitrogênio.

(16) As plantas podem se utilizar diretamente da amônia e não dependem do processo que ocorre em **C** para obter os produtos nitrogenados.

(32) O processo mostrado em **E** indica que os animais excretam a amônia.

(64) O nitrogênio é importante para os seres vivos, pois entra na composição molecular dos aminoácidos e dos ácidos nucleicos. 04 + 64 = 68

19. (Uesc) O esquema a seguir representa de forma parcial o ciclo do nitrogênio presente na natureza com alguns dos seus componentes bióticos.



A respeito da dinâmica desse ciclo e das informações obtidas no esquema, é correto afirmar:

X a) As plantas convertem o componente inorgânico em moléculas orgânicas que contêm nitrogênio, que poderá ser transferido para os outros níveis tróficos através das cadeias alimentares.

b) As bactérias desnitrificantes convertem o nitrogênio molecular, presente na atmosfera, fixando-o ao solo na forma orgânica.

c) A reciclagem dos resíduos nitrogenados pelos consumidores permite a reutilização desses compostos pelas bactérias nitrificantes.

d) O nitrato fixado pelas bactérias desnitrificantes deve ser convertido inicialmente em nitrito e finalmente em amônia para que possam estar acessíveis aos vegetais.

e) Consumidores e decompositores que consomem matéria nitrogenada se posicionam invariavelmente no 1º nível trófico das cadeias alimentares.

20. (UEM-PR) Sobre os ciclos biogeoquímicos, identifique e some o que for correto. 02 + 04 + 16 = 22

(01) A água que é incorporada nos tecidos dos vegetais e dos animais e que é devolvida ao ambiente, após a morte destes, faz parte do pequeno ciclo ou ciclo curto, uma vez que o deslocamento da água fica restrito à proximidade do solo.

(02) A evaporação dos lagos, rios e mares e a transpiração oriunda dos seres vivos participam do ciclo hidrológico, e a água que retorna ao solo, em forma de chuva, terá imprescindível papel na formação do lençol freático.

(04) O elemento químico carbono, presente nas moléculas orgânicas, é disponibilizado na atmosfera na forma de gás carbônico liberado pela respiração, decomposição de vegetais e animais mortos e pela queima dos combustíveis fósseis.

(08) O método de fertilizar o solo com leguminosas aumenta a quantidade de nitrogênio fixado, porque a adubação verde estimula a atividade fotossintética pelo acréscimo de clorofila ao meio.

(16) A atmosfera terrestre disponibiliza o gás oxigênio, o gás carbônico, o ozônio e o vapor de água como elementos participativos no ciclo do oxigênio.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar (em livros de Biologia, Química, Física, Geografia e História, na internet, etc.). Depois, apresentem o resultado do trabalho para a classe e para a comunidade escolar (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis). Se possível, peça o auxílio para os professores das disciplinas de Biologia, Química, Física, Geografia e História. Eles podem indicar o material de pesquisa e tirar possíveis dúvidas.

Verifiquem também a possibilidade de convidar profissionais da área de energia (que trabalhem com a exploração dos diferentes recursos energéticos, como petróleo, carvão mineral, gás natural, energias solar, eólica ou hidrelétrica, etc.) para a apresentação de palestras sobre os temas pesquisados e convidem a comunidade escolar para participar.

Informem-se também se em sua região existe alguma instituição, seja empresa particular ou centro de pesquisa, ligada à área energética e verifiquem se é possível agendar visitas ao local.

1. Com auxílio do professor de Física, explique o que é irradiação, uma forma de transmissão de calor envolvida no efeito estufa. Procurem por notícias recentes sobre o aquecimento global: previsões dos cientistas sobre os efeitos das mudanças climáticas em diferentes regiões geográficas, incluindo o que pode ocorrer no Brasil; relações entre aquecimento global, industrialização e aumento de consumo ao longo da história humana; o que está sendo feito para minimizar as emissões de carbono e os danos que o aquecimento global poderá provocar ou está provocando, etc. Expliquem também o que é e como pode ser feito o sequestro de carbono.

2. Busquem notícias recentes sobre os problemas de abastecimento de água, o acesso a ela no Brasil e no mundo e soluções que estão sendo implementadas; como é a distribuição de água doce no Brasil e no mundo; a relação aumento de consumo de água ao longo do tempo × crescimento da população; a quantidade relativa de água utilizada na produção de alimentos e de outros produtos.

3. Pesquisem qual a origem do petróleo, do carvão mineral e do gás natural; como é feita a extração de cada um desses recursos, como são usados e, se houver produtos derivados, quais são; como evoluiu a exploração dessas fontes energéticas fósseis a partir da Revolução Industrial; quais os problemas causados pela utilização desse tipo de energia; qual a proporção (em relação a outras fontes de energia) desse tipo de energia no mundo e no Brasil.

4. Como a energia solar e a energia eólica podem ser aproveitadas? Como elas têm sido utilizadas no Brasil e no mundo? Quais são as vantagens e desvantagens da utilização dessas formas de energia?

5. Como a energia hidrelétrica e a energia nuclear podem ser aproveitadas? Como elas têm sido utilizadas no Brasil e no mundo? Quais são as vantagens e desvantagens da utilização dessas formas de energia?

6. Como a energia geotérmica, de biomassa e das marés podem ser aproveitadas? Como elas têm sido utilizadas no Brasil e no mundo? Quais são as vantagens e desvantagens da utilização dessas formas de energia?

CAPÍTULO 19

Distribuição dos organismos

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*, cerca de 60 cm de comprimento, fora a cauda), Petrolina-PE. Foto de 2015.

A ampla variação climática do planeta e o número de barreiras geográficas favoreceram a formação de novas espécies de organismos ao longo de milhões de anos. O que observamos hoje é uma enorme diversidade de espécies que ocorrem nos diferentes ecossistemas da Terra. Entender a forma como os mais variados organismos estão distribuídos na biosfera nos ajuda a compreender uma série de fenômenos biológicos, como a evolução, e ainda nos ajuda a criar estratégias para preservar esse enorme patrimônio.

- *Como você acha que era a região onde você mora antes da ocupação humana?*
- *De que forma o clima influencia as formas de organismos encontradas em uma região?*
- *Você já esteve em alguma floresta? Além das florestas, que outros ecossistemas você conhece?*

1 Epinociclo

Correspondendo aproximadamente a 28% da área do globo terrestre, o **epinociclo** é o conjunto de ecossistemas terrestres.

A biosfera pode ser dividida em **biomas** (do grego *bios* = vida; *oma* = proliferação), grandes comunidades adaptadas a condições ecológicas específicas e caracterizadas, principalmente, pelo tipo de vegetação dominante. Em Geografia, aprendemos que a latitude influencia o clima: dos polos ao equador, ou seja, das regiões mais frias para as mais quentes, encontramos biomas diferentes, com fauna e flora adaptadas às condições climáticas de cada região. Aprendemos também que a temperatura diminui com a altitude. Por isso podemos encontrar seres típicos de regiões frias em áreas de grande altitude, mesmo próximo ao equador. O maior número de espécies é encontrado nas regiões tropicais e diminui gradativamente em direção às regiões temperadas e aos polos (figura 19.1).

Os tipos de plantas e animais característicos de cada bioma são influenciados pelo tipo de solo e por fatores climáticos, principalmente a quantidade de chuva (pluviosidade) e a temperatura média anual.

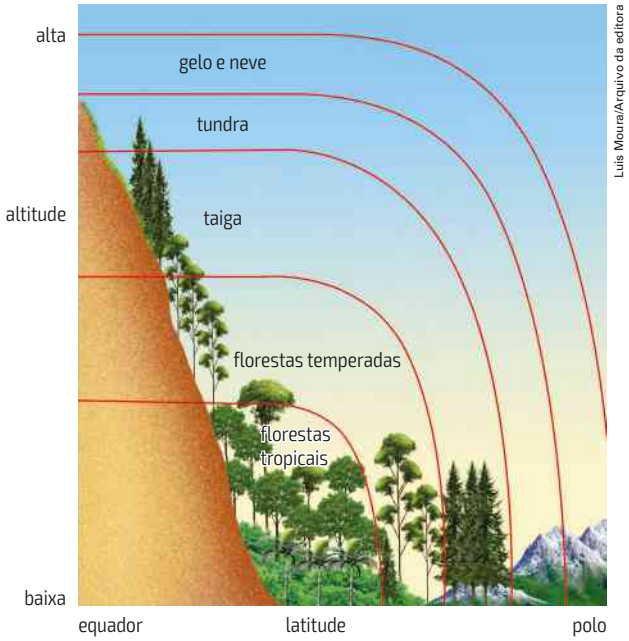
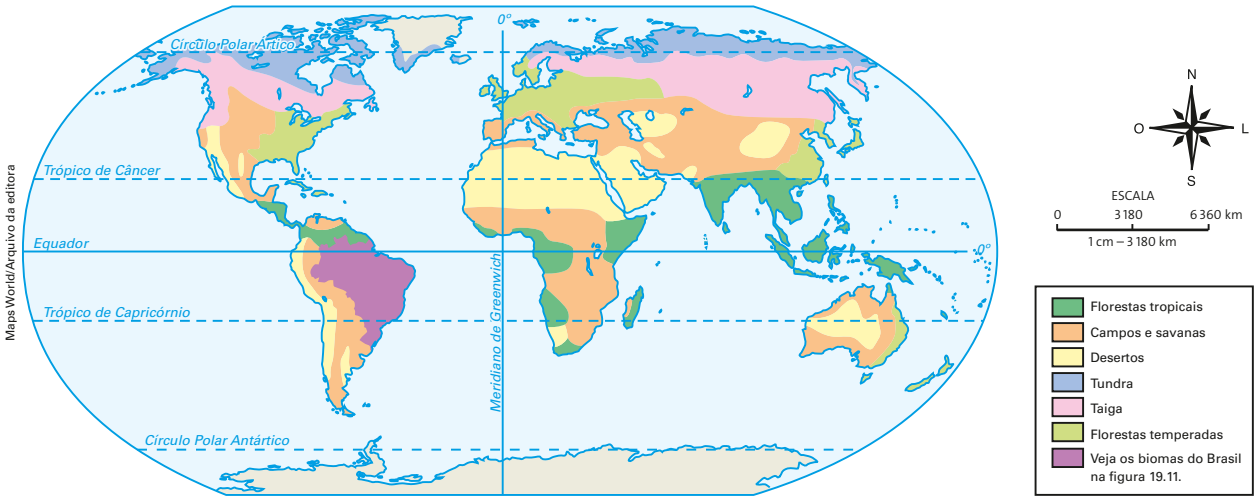


Figura 19.1 Variação da vegetação de acordo com a latitude e a altitude. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Os principais biomas terrestres são a tundra, a taiga, as florestas temperadas, as florestas tropicais, os campos e os desertos (figura 19.2).

Principais biomas do planeta



Adaptado de: COLLINS School World Atlas. London: Collins, 2009.

Figura 19.2 Os biomas brasileiros não estão representados e serão vistos na figura 19.11.

Tundra

A **tundra** (do finlandês *tunturia* = planície sem árvores) está presente ao redor do polo norte (tundra ártica) e no topo das montanhas mais altas (tundra alpina). É o bioma de temperaturas menores. O clima é frio e seco, com baixa precipitação e pouca luminosidade. A baixa temperatura dificulta a absorção da água do solo pelas plantas. Nesse bioma, o solo permanece congelado a maior parte do tempo. Durante o verão, que dura aproximadamente dois meses (temperatura máxima, em média, de 12 °C), uma fina camada na superfície do solo descongela, formam-se charcos e surge uma vegetação rasteira composta de musgos, liquens, capim e poucos e pequenos arbustos. Os ventos fortes são outro fator que dificulta a presença de plantas maiores. Entre os animais, há insetos, pássaros, caribus (ou renas americanas), lemingues, lebre ártica, raposa polar, urso-branco e lobo ártico (figura 19.3).

As mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global e a exploração de petróleo nas regiões de tundra constituem ameaças a esse bioma.

Wild Arctic Pictures/Shutterstock/Glow Images

Francesco Dazzi/Shutterstock/Glow Images

Figura 19.3 **A**: paisagem de tundra na América do Norte (Alasca), com caribu ou rena americana (1,2 m a 2,2 m de comprimento, fora a cauda; no inverno, o caribu escava o solo gelado à procura de liquens e raízes; caribu significa 'animal que escava a neve', em uma língua indígena norte-americana); **B**: tundra alpina, nos Andes (Peru).

Taiga

A **taiga** (em russo, 'floresta alagada') é também chamada de **floresta de coníferas** ou **floresta boreal** (boreal = do lado Norte). Localiza-se ao sul da tundra, em áreas do Canadá, da Sibéria e dos Estados Unidos. É encontrada ainda em altitudes elevadas. Por estar mais próxima do equador, recebe maior quantidade de energia solar que a tundra. É constituída por florestas de coníferas (gimnospermas), como o pinheiro e o abeto (figura 19.4).

A fauna é mais rica que a da tundra (figura 19.4), com insetos (muitos mosquitos), aves, lebres, alces, renas, marmotas, ratos silvestres e musaranhos, que servem de alimento a animais como martas, linces, lobos e ursos-pardos.

Algumas regiões de taiga têm sido devastadas pela exploração de madeira e pela poluição do ar, que causa chuvas ácidas. A água é poluída por gases tóxicos do ar, como veremos no Capítulo 20.

Andre Nantel/Shutterstock/Glow Images

bikeriderlondon/Shutterstock

Nicola Destefano/Shutterstock/Glow Images

Figura 19.4 **A**: aspecto da vegetação de taiga (Canadá); **B**: marmota (30 cm a 50 cm de comprimento, fora a cauda; roedor da família dos esquilos); **C**: urso-pardo (2 m a 3 m de comprimento; no inverno, ele hiberna e se mantém vivo devido à sua gordura).

Florestas temperadas

As **florestas temperadas** localizam-se nas regiões de clima temperado, como algumas áreas dos Estados Unidos, da Europa, da Ásia e da América do Sul e têm as quatro estações do ano bem definidas.

A maioria das florestas temperadas caracteriza-se pela perda das folhas das árvores no fim do outono, o que reduz a perda de água no inverno (figura 19.5). Por isso, essas florestas são chamadas de **decíduas** ou **caducifólias** (do latim *deciduus* ou *caducum* = que cai). As folhas voltam a crescer na primavera. Entre as árvores dominantes, estão o carvalho, o bordo, a nogueira e a faia. Há também musgos, samambaias e arbustos.

Entre os animais, existem vários invertebrados, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. São exemplos de mamíferos que habitam as florestas temperadas: ratos silvestres, marmotas, veados, ursos, gambás, pumas, lobos, linces, raposas, gatos selvagens (figura 19.5) e esquilos.

Stephane Bidouze/Shutterstock/Glow Images

Mark Bridger/Shutterstock/Glow Images

Hung Chung Chih/Shutterstock/Glow Images

Figura 19.5 **A**: vista de floresta temperada no inverno, completamente sem folhas; **B**: gato selvagem europeu (55 cm a 80 cm de comprimento, fora a cauda; ao anoitecer, caça esquilos, coelhos e ratos; pode comer até vinte desses animais em uma noite); **C**: urso panda (1,6 m a 1,9 m de comprimento; animal raro que vive nas montanhas do sul da China; come quase exclusivamente folhas e brotos de bambu).

Florestas tropicais

As **florestas tropicais** localizam-se na região equatorial, na América Central (figura 19.6), no norte e leste da América do Sul, nas partes leste e oeste da África central, no sul da Ásia, nas ilhas do Pacífico e no nordeste da Austrália. Nessas regiões, o clima é quente e úmido, com temperatura relativamente constante (em média 27 °C) e chuvas frequentes e abundantes (daí o nome de floresta pluvial tropical). A floresta Amazônica, no norte da América do Sul, é a maior floresta tropical do mundo (vamos conhecê-la melhor adiante).

Ivalin/Shutterstock/Glow Images

Figura 19.6 Vista aérea de uma floresta tropical na Costa Rica.

Ocupando apenas 7% da superfície do planeta, as florestas tropicais contêm mais espécies de plantas e animais que todos os outros biomas juntos.

Há diversas plantas **latifoliadas** (do latim *latus* = largo; *folia* = folha), ou seja, com folhas largas. A grande superfície dessas folhas aumenta a área de absorção de luz sem perigo de desidratação (a perda de água por transpiração é compensada pela absorção das raízes). As plantas, em geral, são **perenes** ou **perenifólias** (do latim *perennis* = duradouro), isto é, mantêm a maioria das folhas durante todo o ano. A copa das árvores de grande porte intercepta boa parte da luz solar, o que diminui o desenvolvimento de plantas rasteiras. Em compensação, sobre as árvores há grande número de cipós e epífitas, como orquídeas e bromélias. As poucas plantas rasteiras costumam ter folhas grandes, captando a pouca quantidade de luz que chega ao solo.

O solo em florestas tropicais

O solo de muitas florestas tropicais é formado por uma massa de areia e argila, pobre em nutrientes minerais. Sobre ele, há apenas uma fina camada de húmus ou humo (do latim *humus* = enterrado), uma camada fértil de terra escura originada da decomposição de restos de plantas e animais. Então, como se explica a riqueza vegetal dessas florestas? No solo, à sombra das árvores e dispondo de muito calor e umidade o ano todo, as bactérias e os fungos se reproduzem rapidamente. Com isso, a decomposicão da matéria orgânica é muito rápida e formam-se os nutrientes minerais, imediatamente absorvidos pelas plantas.

Com o desmatamento da floresta, deixam de existir restos de vegetais e animais a serem decompostos. Além disso, os microrganismos decompositores são destruídos pelas queimadas ou perdem sua sombra protetora, que era dada pela copa das árvores. Sem reposição do húmus, o solo se esgota rapidamente.

A cobertura vegetal diminui a erosão do solo, provocada pela água, pelo vento e por outros fatores. A folhagem das plantas não deixa a chuva cair diretamente no solo, e as raízes ajudam a reter as partículas do solo. Por isso, quando as plantas são retiradas, a erosão acelera-se. Além disso, a chuva leva os sais minerais para o fundo do solo (lixiviação), em locais inacessíveis às plantas, e a terra levada pela erosão pode acumular-se no fundo dos rios (assoreamento), aumentando a ocorrência de inundações.

A exuberância do estrato arbóreo explica a quantidade de animais capazes de subir em árvores ou de voar em busca de frutos, sementes e/ou folhas. Por isso, há grande variedade de macacos, aves (figura 19.7), lagartos, serpentes e, principalmente, insetos.

O desmatamento das florestas tropicais provoca alterações climáticas porque a quantidade de água devolvida à atmosfera pela transpiração é maior que a restituída pela evaporação direta, por causa da grande área relativa formada pelas folhas. Com a destruição da vegetação, portanto, reduz-se o volume de água disponível para as chuvas. Assim, a quantidade de chuvas e a umidade reduzem-se progressivamente e pode instalar-se um clima do tipo semiárido. Além do que, a água devolvida pela transpiração forma nuvens que os ventos levam para o sul, regulando o clima em vários países. Portanto, a preservação das florestas é fundamental para o equilíbrio ecológico do planeta.

Outro problema do desmatamento é que, à medida que as florestas desaparecem, são extintas espécies importantíssimas para estudo, para produção de medicamentos e outros produtos: a maioria das espécies ainda não foi estudada e muitas não foram catalogadas. Mesmo que não ocorra extinção, já é bastante grave a diminuição da variabilidade genética das populações, pois isso as torna mais suscetíveis à extinção.

Além das razões ecológicas, estéticas e utilitárias, há também uma justificativa de ordem ética: a de não destruirmos outras espécies ou o ambiente em que vivemos.

Janprchal/Shutterstock/Glow Images

Eduardo Rivero/Shutterstock/Glow Images

Figura 19.7 **A**: arara-vermelha (*Ara chloropterus*, até 90 cm de comprimento). **B**: tucano-de-peito-amarelo (*Ramphastos sulfuratus*; 42 cm a 55 cm de comprimento).

Biologia e sociedade

Jequitiranaboia e a lenda da cobra-do-ar

Um dos insetos conhecidos de regiões de florestas tropicais é a jequitiranaboia (*Fulgora laternaria*; **figura 19.8**). No Brasil, esse animal apresenta vários nomes populares, como jaquitirana, tiranaboia, jitirana, cigarra-cobra e jacaré-namboya, cobra-de-asa e cobra-do-ar. Esse inseto pode chegar a 10 cm de comprimento, mas é de difícil observação na natureza. Talvez por essa razão, nos países em que o animal ocorre, como México, Argentina, Venezuela, Colômbia e Costa Rica, além do Brasil, surgiram inúmeros mitos e lendas sobre seu comportamento, muitos deles associando o inseto a uma serpente voadora altamente peçonhenta, capaz de matar plantas, animais e pessoas. A palavra jequitiranaboia tem origem no tupi-guarani e significa cigarra parecida com cobra (*yeki* = cigarra; *rana* = parecido; *mboya* = cobra). Em regiões do Ceará, o nome do inseto é visto como um sinônimo de um indivíduo terrível.

Associado à cabeça, a jequitiranaboia apresenta uma estrutura que é interpretada pelas culturas tradicionais como um ferrão. Seria por meio desse órgão que o inseto injetaria a peçonha. Mas pesquisas indicam que se trata de uma estrutura sugadora por onde o inseto se alimenta exclusivamente de vegetais, sugando sua seiva sem causar grandes danos às plantas.

No entanto, é possível que a jequitiranaboia de fato ferroe quando manuseada. Sabe-se também que alguns insetos coletam nas plantas e utilizam substâncias tóxicas que são usadas como defesa. Mesmo assim, não há na literatura científica qualquer registro de óbito decorrente do contato com o inseto.

Ainda que muitas vezes não forneçam informações precisas, o conhecimento das culturas tradicionais sobre os animais e outros elementos da natureza são de fundamental importância na sociedade e para a conservação das espécies e de seus *habitat*.

Fontes de pesquisa: <http://revistas.unilasalle.edu.br/documentos/Rbca/V1_N1/03.pdf>;<www.academia.edu/3399223/Fatos_reais_e_lend%C3%A1rios_sobre_a_jequitiranab%C3%B3ia>. Acesso em: 13 jan. 2016.

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.8 Jequitiranaboia (*Fulgora laternaria*, cerca de 5 cm de comprimento) no solo da Floresta Nacional do Tapajós. Belterra (PA), foto de 2013.

Campos

Os **campos** localizam-se entre o deserto e a floresta em regiões tropicais e temperadas que recebem uma quantidade de chuvas intermediária. Isso dificulta o desenvolvimento de árvores de grande porte e facilita o surgimento de plantas pequenas, como as gramíneas. Nos campos das regiões tropicais – como a **savana**, na África e na Austrália, e o **Cerrado**, na região Centro-Oeste brasileira (que será estudado adiante) –, além das gramíneas, há arbustos e árvores esparsas. Os campos das regiões temperadas – formados por vastas extensões de capim – recebem diferentes nomes: **estepes**, na Ásia e Europa; **pradarias**, na América do Norte; **pampas** (visto adiante), no sul da América do Sul.

A vegetação rasteira permite a sobrevivência de muitos animais herbívoros e, consequentemente, dos carnívoros que deles se alimentam. Nas savanas da África, por exemplo, há antílopes, girafas, zebras, gnus, rinocerontes, leões, guepardos, chacais e hienas, entre outros animais (figura 19.9).

A ocupação dos campos para a criação de gado e para a agricultura vem provocando a extinção de vários animais. Além disso, as frequentes queimadas e o pastoreio excessivo aceleram a erosão e o esgotamento do solo.

Alexey Goosev/Shutterstock/Glow Images

Steve Boice/Shutterstock

Figura 19.9 **A**: zebras (2,5 m a 3 m de comprimento, fora a cauda) em savana africana (Reserva Nacional do Masai Mara, Quênia); **B**: bisão (2 m a 3,5 m de comprimento, fora a cauda) numa pradaria estadunidense.

Desertos

Em geral, os **desertos** estão situados em torno de 30° de latitude, ao norte e ao sul do equador, onde o ar que chega à superfície terrestre é muito seco. Existem desertos em regiões da África, da Ásia, dos Estados Unidos, do México e da Austrália. As chuvas são raras, com precipitação anual baixa (menos de 250 mm nas regiões áridas e menos de 500 mm nas semiáridas), o clima é seco e o solo é árido.

Nos desertos quentes, o dia tem temperatura acima de 40 °C, podendo chegar a 54 °C. À noite a temperatura é muito fria, pois, com a falta de vapor de água, o calor escapa rapidamente do solo. Nos desertos frios, que ficam em latitudes altas, a variação diária de temperatura é menor.

Como há pouca água, a vegetação é pobre e esparsa. As poucas plantas que existem estão adaptadas ao clima seco, como as plantas denominadas **xerófilas**, ou **xerófitas**, ou **xeromorfas** (do grego *xerós* = seco; *philein* = amigo; *phyton* = planta; *morpho* = forma). Essas plantas apresentam características que contribuem para diminuir a perda de água por transpiração. Algumas dessas características são epiderme com cutícula espessa, rica em ceras impermeabilizantes ou em pelos que retêm a umidade do ar, e estômatos pequenos localizados no interior de cavidades da folha (criptas), além de raízes muito desenvolvidas, que aproveitam bem a água das eventuais chuvas, e de tecidos especiais que armazenam água (parênquimas aquíferos). Em alguns casos, como nos cactos, as folhas se transformaram em espinhos, reduzindo a superfície relativa da planta e, portanto, a perda de água por evaporação (figura 19.10). Os espinhos também protegem a planta contra animais que a procuram por suas reservas de água.

A fauna dos desertos não tem grande número de espécies. Além de roedores (como o rato-canguru), há répteis (lagartos e serpentes), insetos (besouros, grilos), aracnídeos (escorpiões) e aves (corujas), entre outros animais.

Steve Allen/Shutterstock/Glow Images

Figura 19.10 Cactos (o tamanho pode variar de 1 m a vários metros de altura) no deserto de Atacama, no Chile.

2 Biomas brasileiros

Com 8,5 milhões de quilômetros quadrados de território e grande variedade de clima, temperatura, solo e umidade, o Brasil apresenta extraordinária diversidade de ecossistemas e abriga cerca de 20% de todas as espécies animais e vegetais do mundo. No entanto, todos os biomas sofreram com a ocupação humana e parte da vegetação original já foi destruída (figura 19.11): o Brasil já perdeu cerca de 38% de sua vegetação nativa e continua perdendo anualmente milhares de quilômetros quadrados pelo corte de árvores e queimadas.

Floresta Amazônica

A **Floresta Amazônica** cobre a maioria do território da região ao norte da América do Sul e é a maior floresta tropical pluvial do mundo. A Floresta Amazônica apresenta clima quente e bastante úmido e chuvas abundantes. Além do Brasil, essa floresta ocupa Peru, Colômbia, Bolívia, Equador, Suriname, Venezuela, Guiana e Guiana Francesa.

Como nas demais florestas tropicais, a rápida reciclagem da matéria orgânica é fundamental para a manutenção da comunidade. Isso ocorre porque o solo é pobre em nutrientes.

Situação dos biomas brasileiros

Maps World/Arquivo da editora

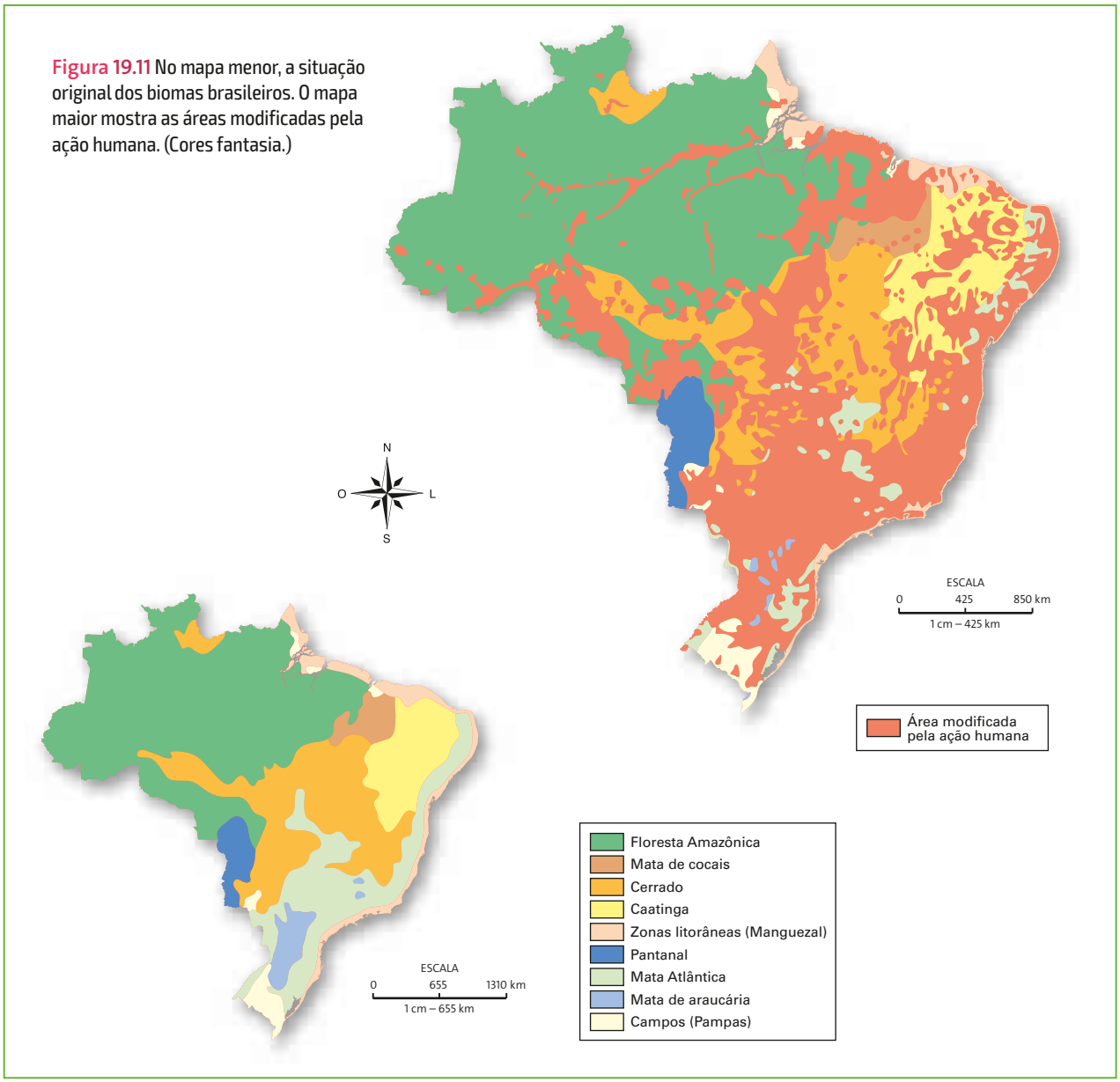


Figura 19.11 No mapa menor, a situação original dos biomas brasileiros. O mapa maior mostra as áreas modificadas pela ação humana. (Cores fantasia.)

Fonte: ALMANAQUE Abril. São Paulo: Abril, 2009.

Em linhas gerais, ela divide-se em terra firme e alagada: as matas de terra firme localizam-se em regiões mais altas, onde não ocorrem inundações; as matas de igapó situam-se em terrenos baixos, próximo a rios, e, por isso, permanecem quase sempre inundadas. Há também as matas de várzea, que são apenas temporariamente inundadas (figura 19.12).

João Ramid/Arquivo da editora

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Octavio Cardoso/Pulsar Imagens

Daniela Dacorso/Pulsar Imagens

Figura 19.12 Vegetação da floresta Amazônica: **A**: a copa das árvores dificulta a passagem da luz; **B**: mata de igapó (Parque Nacional do Jaú, Amazonas); **C**: mata de terra firme (Estação Científica Ferreira Penna, Melgaço, Pará); **D**: mata de várzea (Pará).

Há árvores altas como o cedro, o açaizeiro e o jatobá. Além de outras plantas, como o guaranazeiro. Na superfície das áreas tomadas pelas águas é comum encontrar a vitória-régia, vegetal com folhas circulares flutuantes, que podem chegar a 2 m de diâmetro (figura 19.13).

André Dib/Pulsar Imagens

Figura 19.13 Vitórias-régias (*Victoria amazonica*) no rio Croa, AC. Foto de 2014.

Na Amazônia, encontra-se a maior variedade de espécies de aves, primatas, roedores, sapos, insetos, lagartos e peixes de água doce do mundo.

Entre os mamíferos, são comuns os primatas (guariba, barrigudo e outros macacos), os carnívoros (onça-pintada ou jaguar, cachorro-vinagre, quati, furão, jaguatirica, suçuarana ou onça-parda), tamanduás (que se alimentam de cupins), preguiças (que comem brotos de embaúba), esquilos, veados (galheiro, mateiro e catingueiro), porcos-do-mato (queixada e caititu) e mamíferos aquáticos (peixe-boi, boto, lontra e ariranha). Há grande variedade de aves, como mutuns, tucanos, araras, papagaios, jacus e pássaros. Entre os répteis, há lagartos, jacarés, tartarugas e serpentes (como sucuri, jiboia, surucucu e jararaca). Existe também uma variada coleção de anfíbios (sapos, rãs e pererecas), peixes (pirarucu, tucunaré, pacu, tambaqui) e uma infinidade de invertebrados.

Veja alguns exemplos da fauna amazônica na figura 19.14.

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Stephen/Shutterstock/Glow Images

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.14 **A**: papa-cacau (*Amazona festiva*; até 35 cm de comprimento) comendo bacuri (cerca de 10 cm de diâmetro), uma fruta da região norte; **B**: ariranha (*Pteronura brasiliensis*; até 1,5 m de comprimento, fora a cauda); **C**: uacari-vermelho (*Cacajao rubicundus*; 40 cm a 45 cm de comprimento, fora a cauda).

A região da Amazônia vem sendo destruída por desmatamentos para ceder espaço à agricultura, à pecuária e à extração de madeira e minérios. A caça predatória e a contaminação dos rios por mercúrio dos garimpos também contribuem para sua poluição e destruição.

A preservação da Amazônia é de interesse mundial, pois ela abriga a maior biodiversidade do planeta – cerca de 15% de todas as espécies conhecidas de plantas e animais. A destruição de florestas tropicais aumenta o aquecimento global e provoca outras alterações climáticas. A floresta produz um enorme volume de vapor de água, que responde pela formação de cerca de 60% das chuvas que caem sobre as regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Há ainda interesse econômico sobre a região, mas não podemos esquecer que os ecossistemas naturais não devem ser avaliados apenas pelos benefícios oriundos de sua exploração, mas também por seus benefícios ecológicos, estéticos e éticos.

Outro problema grave é que a destruição das florestas tropicais coloca em risco a sobrevivência de diversas comunidades, como a indígena, que lá têm seu *habitat* e sustento. A preservação de outras culturas é uma obrigação moral e social.

A exploração das florestas tropicais deve ser feita de forma cuidadosa para não alterar o equilíbrio ecológico, de modo a garantir a sustentabilidade. A coleta de produtos vegetais deve ser realizada nas reservas extrativistas, especialmente delimitadas para isso, sem colocar em risco o ecossistema. No caso da floresta Amazônica, é possível comercializar, por exemplo, borracha, babaçu, dendê, cacau, açaí, guaraná e castanha-do-pará.

Um dos mecanismos para combinar benefícios econômicos e sociais com a preservação da floresta é a **certificação florestal**, que informa aos consumidores que o produto (madeira, papel, etc.) foi obtido de uma floresta manejada de forma ecologicamente adequada e não de derrubadas impróprias das florestas nativas. É necessário que haja conscientização do consumidor para que ele colabore com o processo de proteção ambiental. Além disso, fiscalizar e coibir o corte ilegal é incentivar o uso sustentável da floresta.

Para preservar a Amazônia, várias medidas políticas e sociais devem ser tomadas. Entre elas: a geração de empregos formais para os que vivem do desmatamento ilegal; o investimento em saúde e educação; a regularização das propriedades rurais; o aumento do número de guardas florestais; a ampliação do reflorestamento e estímulo financeiro para a preservação da floresta.

Mata Atlântica

A **Mata Atlântica** é uma floresta tropical, de clima quente e úmido, que atualmente se estende em fragmentos esparsos ao longo do litoral brasileiro.

Entre as árvores, há o jequitibá-rosa, a quaresmeira, o ipê, a embaúba, a palmeira-juçara (da qual é extraído o palmito), a canela, o jacarandá, o cedro e a peroba. No interior da floresta, há grande variedade de trepadeiras, mata-paus e pteridófitas (figura 19.15).

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.15 **A**: vista aérea da Mata Atlântica (Serra de Paranapiacaba, SP); **B**: interior da Mata Atlântica (Ilha do Cardoso, Cananeia, SP).

Nela vivem diversos mamíferos: marsupiais (como o gambá e a cuíca-d'água), primatas (como o muriqui, o mico-leão, o sagui-preto e o macaco-prego), guaxinins (mão-pelada), quatis, onças-pintadas, gatos-do-mato, cachorros-vinagre, suçuaranas, ouriços-cacheiros, porcos-do-mato, tatus, pacas, antas e preguiças. Entre as aves, estão: macuco, inhambu, patos selvagens, gaviões, mutum, araponga, muitas espécies de beija-flor e saíra-sete-cores (figura 19.16). Muitas das espécies da Mata Atlântica estão ameaçadas de extinção.

Figura 19.16 Alguns representantes da fauna da Mata Atlântica: **A**: saíra-sete-cores (*Tangara seledon*; cerca de 15 cm de comprimento); **B**: sapo pingo-de-ouro (*Brachycephalus ephippium*; cerca de 2 cm de comprimento); **C**: ouriço-cacheiro (*Coendou villosus*); atinge, em média, 70 cm de comprimento).

Exploração da Mata Atlântica

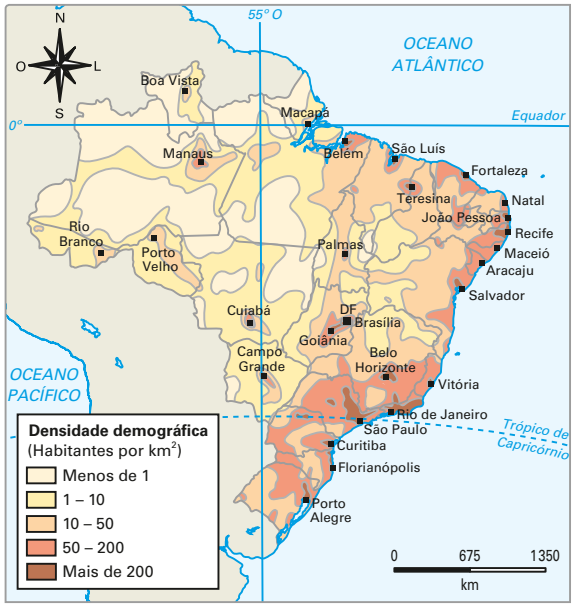
Estudos históricos mostram que, desde o início da colonização do Brasil, a Mata Atlântica foi o bioma que mais sofreu com a ação humana (figura 19.17).

Reprodução/Coleção de Artes Visuais do Instituto de Estudos Brasileiros da USP, São Paulo, SP.

Figura 19.17 Este desenho, feito pelo alemão Johann Moritz Rugendas (1802-1858), registra o desmatamento da Mata Atlântica que ocorria nos anos 1820.

Alguns dos principais fatores que contribuíram com a devastação ecológica dessa região foram a extração do pau-brasil, usado por exemplo como fonte de corante vermelho para tecidos; o ciclo da cana-de-açúcar e o do café; a mineração; a extração de madeiras nobres; a pecuária; a caça predatória; e o crescimento desordenado das cidades. Atualmente, cerca de dois terços da população brasileira vivem em áreas originalmente ocupadas pela Mata Atlântica (figura 19.18). Levando-se em conta os fragmentos de mata com no mínimo 3 hectares (30 mil metros quadrados), restam apenas 11,62% da vegetação original.

Densidade demográfica do Brasil em 2010



Banco de imagens/Arquivo da editora

Elaboração: Simielli, 2012, com dados do Censo Demográfico 2010, IBGE.

Figura 19.18 Densidade demográfica brasileira baseada no Censo de 2010.

Juntamente com o Cerrado, a Mata Atlântica é o ecossistema mais ameaçado do mundo, ao mesmo tempo que é um dos 34 *hotspots* ("pontos quentes", em inglês) de biodiversidade, ou seja, regiões de grande biodiversidade e ameaçadas de extinção. Para ser considerado um *hotspot*, um ecossistema deve ter pelo menos 1500 espécies endêmicas de plantas e ter perdido 70% ou mais de sua área original. Embora correspondam a menos de 3% da superfície do planeta, os *hotspots* abrigam cerca de metade de todas as espécies de plantas e 40% das espécies de vertebrados terrestres.

Associados à Mata Atlântica aparecem ecossistemas costeiros, como os manguezais e as restingas, com vegetação adaptada a solos arenosos e secos.

Caatinga

A **Caatinga** ocupa aproximadamente 1 milhão de quilômetros quadrados (pouco mais de 11% do território brasileiro) e estende-se pelos estados do Nordeste e pelo norte de Minas Gerais. Trata-se de uma zona quente e seca, de clima semiárido, com baixo índice pluviométrico e estações de seca prolongada.

Na época da seca, a maioria das árvores perde as folhas, e boa parte dos rios e lagoas secam. O aspecto árido, desbotado e sem folhas verdes deu nome a esse bioma: caatinga é um termo de origem tupi e significa 'mata branca', em referência às plantas sem folhas. Quando as chuvas retornam, as árvores se cobrem de folhas devido às reservas de matéria orgânica armazenadas no caule e nas raízes.

A vegetação está adaptada ao clima seco, com plantas xerófilas (figura 19.19). É comum a família das cactáceas, como o mandacaru e o xiquexique. Destacam-se também o umbuzeiro e os ipês.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.19 Exemplos de plantas da Caatinga: **A**: cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*; até 5 m de altura); **B**: umbuzeiro (*Spondias tuberosa*; até 6 m de altura).

Entre os vertebrados, há várias espécies de anfíbios, lagartos, serpentes, tartarugas, jabutis, aves e mamíferos. Alguns exemplos de mamíferos são o sagui-do-nordeste, o macaco-prego, o tatupeba, o preá, o caititu, o veado-catingueiro e o tatu-bola. Entre as aves, estão o carcará, a gralha-canção, a ema e o periquito-da-caatinga (figura 19.20).

O desmatamento, principalmente para exploração não sustentável de lenha, vem provocando, entre outros problemas, a degradação do solo, com ameaça de **desertificação** (veja boxe a seguir). É necessário, portanto, implementar o reflorestamento, entre outras práticas de manejo sustentável.

Figura 19.20 Alguns animais encontrados na Caatinga: **A**: tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*; cerca de 50 cm de comprimento); **B**: periquito-da-caatinga (*Aratinga cactorum*; aproximadamente 15 cm de comprimento).

Biologia e ambiente

A desertificação

A desertificação pode ser provocada pela atividade humana ou por alterações climáticas e afeta a vida de um sexto da população mundial. No Brasil, ela ameaça 1 milhão de quilômetros quadrados no Nordeste, onde vivem aproximadamente 15 milhões de pessoas.

Atualmente sua principal causa são as práticas agropecuárias inadequadas, o desmatamento e a mineração. O resultado é que o solo fica sem proteção contra a erosão, perde sua camada fértil e torna-se arenoso e estéril.

Para reverter esse processo, é preciso promover o reflorestamento e a reconstituição da vegetação natural, investir em obras de captação de água e dar assistência técnica aos agricultores – estimulando práticas como o plantio em curvas de nível, a irrigação adequada e o manejo sustentável.

Cerrado

O **Cerrado**, também chamado de **campo cerrado**, é um bioma semelhante à Savana, com gramíneas e árvores e arbustos esparsos. O Cerrado ocupa cerca de 1,3 milhão de quilômetros quadrados do Brasil central, em parte dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Minas Gerais, Goiás e Tocantins. Aparece também em São Paulo e no Paraná. Considerando as zonas esparsas no Norte, Nordeste e Sul, a extensão do Cerrado atinge cerca de 2 milhões de quilômetros quadrados, quase 25% do território nacional.

O clima é quente, com períodos alternados de chuva e seca (verão chuvoso e inverno seco). Na estação seca, a vegetação pode queimar espontaneamente. O fogo no Cerrado ocorre periodicamente, causado por raios, e há até algumas plantas que dependem dele para a reprodução, florescendo apenas após uma queimada. Após esfriarem as cinzas, novas plantas brotam do solo e os animais da região voltam à área queimada. As árvores permanecem vivas graças às raízes profundas e aos caules subterrâneos ou à presença de uma cutícula espessa, rica em súber (cortiça) no caule, que age como isolante térmico. No entanto, essa situação natural nada tem a ver com as queimadas provocadas pelo ser humano, que são mais intensas e sem controle, além de mais frequentes, dificultando o crescimento das plantas.

Depois da Amazônia, o Cerrado é a área mais rica em biodiversidade no país.

Estima-se que haja mais de 10 mil espécies de plantas no Cerrado; 44% delas são endêmicas. As árvores, em geral, se distribuem de forma esparsa e têm no máximo 5 m de altura; comumente, os caules são tortuosos e retorcidos, as folhas são coriáceas, e as raízes longas (algumas com 18 m de comprimento) atingem as reservas de água subterrânea (figura 19.21).

Em condições naturais, o solo é muito ácido, com baixo teor de cálcio e magnésio e grande quantidade de alumínio, o que dificulta a absorção de nutrientes pelas raízes. Durante a seca, algumas plantas perdem as folhas; outras perdem também os ramos e fica apenas o caule subterrâneo.

Entre as plantas típicas, há o buriti, o pau-santo, o araçá, o pau-terra, a catuaba, o indaiá, o capim-flecha, o capim-barba-de-bode e o cajueiro-do-campo.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.21 **A**: vegetação do Cerrado; **B**: tronco retorcido de árvore.

Entre os mamíferos, há o tamanduá-bandeira e o tatu-canastra, característicos da América do Sul e ameaçados de extinção. São encontrados ainda o quati, o macaco-prego, o sagui, a capivara (o maior roedor do mundo), o veado-campeiro e o lobo-guará ou guará (figura 19.22). Entre as aves, há a seriema, a gralha, a asa-branca, o socó, a ema (maior ave das Américas) e o gavião-carcará.

Figura 19.22 Alguns animais encontrados no Cerrado: **A**: veado-campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*; 1,1 m a 1,4 m de comprimento); **B**: lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*; cerca de 85 cm de altura).

Quando tratado com fertilizantes e tendo a acidez corrigida com calcário, o solo do Cerrado é muito usado para a agricultura, principalmente para a produção de cana-de-açúcar, soja e milho; além de seu uso para a criação de gado. Ao longo dos anos, esse tipo de exploração excessiva tem levado ao esgotamento e à erosão do solo do Cerrado, que passou a sofrer risco de desertificação. Para combater a destruição do Cerrado, é preciso, entre outras medidas, restaurar as áreas degradadas e manter as áreas de reservas naturais, como o Parque Nacional das Emas, em Goiás.

Pampas

Os **Pampas** (na língua indígena quéchua significa 'região plana'), também chamados de **Campos sulinos** ou **Campos do sul**, localizam-se no extremo sul do país, principalmente no Rio Grande do Sul. A vegetação dominante é formada por gramíneas de pequeno porte, com poucos arbustos espalhados (figura 19.23). De modo geral, não há árvores (embora algumas sejam encontradas ao longo dos rios e na região litorânea); por isso, os Pampas são chamados também de campos limpos (enquanto o Cerrado é chamado de campo sujo, por apresentar vegetação arbórea e arbustiva).

Muitos animais, como o tatu e diversos roedores, cavam tocas. Entre os carnívoros, há o gato-do-pampa, o zorrilho (espécie de raposa) e o guaxinim. Entre as aves, encontram-se o marreco, o tachã e o quero-quero.

A região é utilizada na produção de trigo, arroz, milho e soja, além da pecuária. Essas atividades vêm provocando a erosão do solo.

Pantanal

O **Pantanal**, também chamado de **Pantanal Mato-Grossense**, situa-se nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, estendendo-se até a Bolívia e o Paraguai. O verão é quente e úmido, e o inverno, seco. É a maior planície inundável do mundo: cerca de dois terços do Pantanal (100 000 km^2) ficam alagados na época das chuvas abundantes em razão das enchentes dos rios. O solo recebe fertilizantes naturais vindos da água dos rios das regiões mais altas.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.23 **A**: aspecto de Pampa (Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã, em Santana do Livramento-RS) e dois animais encontrados nesse bioma: (**B**) o guaxinim (*Procyon cancrivorus*; 45 cm a 70 cm de comprimento) e o (**C**) quero-quero (*Vanellus chilen*; 32 cm a 38 cm de comprimento).

Nos meses restantes, permanecem na região várias lagoas que se formaram com as enchentes (figura 19.24).

Figura 19.24 Aspectos do Pantanal: **A**: campo alagado e mata; **B**: brejo com palmeiras ao fundo.

No Pantanal, há uma mistura de campos, florestas tropicais, cerrado e vegetação típica de áreas alagadas.

Nas lagoas, existem vegetais aquáticos flutuantes – como o aguapé, a erva-de-santa-luzia, a elódea, a salvínia e a vitória-régia – e fixos com folhas emersas – como a sagitária. Entre as plantas submersas, há a cabomba e a utriculária (planta carnívora que se alimenta de invertebrados aquáticos microscópicos).

Ocorrem também extensos capinzais, ipês, jatobás, cambarás, imbiriçus, acácias, piúvas, pequizeiros, imbaúbas, timbó, carandá e angico-vermelho.

Há mais de cem espécies de mamíferos, entre elas: a onça-parda (suçuarana), a onça-pintada, a jaguatirica, o gato-do-mato, a lontra, a ariranha, o tamanduá-bandeira e o tatu-canastra.

No Pantanal há a maior diversidade de aves do mundo, entre elas: garças, socós, colhereiros, tucanos, cabeças-secas, anhumas, biguás, gaivotas, araras, patos, marrecos, urubus, gaviões-reais, araras, papagaios, periquitos, mutuns, emas, seriemas, martins-pescadores e jaburus (tuiuiús, símbolo do Pantanal). Entre os répteis, há o jacaré-do-pantanal, a sucuri e o sinimbu (um lagarto). Entre as mais de duzentas espécies de peixes, destacam-se o pintado, o dourado, o jaú, o pacu, o surubim, a traíra, o lambari e a piranha. Veja exemplos da fauna na figura 19.25.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.25 Alguns representantes da fauna do Pantanal: **A**: filhotes de jacarés-do-pantanal (*Caiman crocodylus yacare*; 2,5 m a 3 m de comprimento); **B**: cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*; 1,8 m a 1,9 m de comprimento, fora a cauda); **C**: tuiuiú (*Jabiru mycteria*; chega a 1,6 m de altura).

A pecuária e as práticas agrícolas sem controle em certos locais têm provocado a erosão do solo e o assoreamento de alguns rios. O garimpo de ouro vem poluindo alguns rios com mercúrio. A destruição da fauna pela caça clandestina e pela pesca sem controle é um dos maiores problemas da região.

A exploração do Pantanal deve levar em conta sua ecologia e utilizar técnicas que evitem desequilíbrios ecológicos. É preciso, por exemplo, fiscalizar e controlar a pesca para evitar a captura de peixes na época de reprodução e para coibir o uso de rede de malhas muito finas, que apanham filhotes pequenos. A fiscalização e a repressão à caça clandestina, além da implantação de programas de estudo sobre a ecologia do Pantanal, são algumas medidas importantes que devem ser incentivadas pelo governo para evitar a destruição desse paraíso ecológico.

Um dos maiores atrativos do Pantanal é o turismo ecológico, que precisa ser incentivado. A renda gerada por essa atividade pode ser usada para preservar o patrimônio ecológico da região.

Mata de araucária

A **Mata de araucária** é um tipo de floresta de clima subtropical, que se encontra nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e também em regiões elevadas das serras do Mar e da Mantiqueira, ocupando cerca de 15% do território brasileiro.

A espécie vegetal predominante é o pinheiro-do-paraná, cujo nome científico, *Araucaria angustifolia*, deu origem ao nome desse bioma (figura 19.26). Também há canela, imbuia, erva-mate, cedro, angico, gameleira, podocarpo e samambaiaçu.

Entre os animais, há várias espécies de insetos, de aves (como o sabiá e a gralha-azul; figura 19.26) e de mamíferos (como o tatu), muitas das quais se alimentam do pinhão (a semente do pinheiro).

Aproximadamente, 98% da Mata de araucária foi devastada para a retirada de madeira e o cultivo de eucaliptos e pinheiros diferentes do pinheiro-do-paraná. Restam apenas, em média, 2% da vegetação original, principalmente em Unidades de Conservação.

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.26 Aspecto da Mata de araucária (Parque Estadual de Campos do Jordão, São Paulo) e gralha-azul (cerca de 40 cm de comprimento).

Mata de cocais

Localizada nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, entre a Floresta Amazônica e a Caatinga, a **Mata de cocais** é formada por vários tipos de palmeira (figura 19.27): babaçu, carnaúba, oiticica e buriti. Das sementes do babaçu extraem-se óleo – usado na culinária e na indústria –, álcool, fibras e outros produtos. Da carnaúba são extraídas ceras utilizadas em produtos de polir e encerar; suas folhas são também usadas para tecelagem; e os troncos, na construção de moradias.

Figura 19.27 Mata de cocais (Açu, Rio Grande do Norte).

A Mata de cocais é desmatada para as monoculturas, o que afeta o ambiente e as pessoas que dependem da comercialização dos produtos do babaçu e da carnaúba.

Manguezal

O **Manguezal** situa-se em vários pontos da costa brasileira e é característico das regiões onde o mar se encontra com a água doce dos rios. Essa mistura de águas provoca um depósito de partículas orgânicas trazidas pela água doce e a formação de uma região alagada de fundo lodoso, salobro e mal arejado, condições que limitam bastante a variedade da vegetação (figura 19.28).

Entre as adaptações das plantas dos manguezais, aparecem na *Rhizophora mangle*, as chamadas raízes-escoras (na realidade, a estrutura interna é de caule, não de raiz), que partem de diversas alturas do caule,

ramificam-se no solo lodoso e ajudam na sustentação. Outra adaptação, encontrada nas plantas do gênero *Avicennia*, são os pneumatóforos, ramificações verticais das raízes que afloram do solo e facilitam a absorção do oxigênio do ar por meio de poros, os pneumatódios (figura 19.28).

Nos manguezais vivem moluscos, vermes poliquetos, crustáceos (camarões, caranguejos, guaiamuns), peixes, aves (gaivotas, garças, socós, maçaricos, urubus, gaviões, flamingos), jacarés e mamíferos, como o guaxinim, que, com o caranguejo chama-maré, é típico desse bioma.

Alguns animais, como certos caranguejos e ostras, vivem permanentemente no manguezal, mas a maioria vem do mar e passa apenas uma fase da vida no manguezal, que funciona como um grande viveiro, no qual várias larvas de invertebrados marinhos e peixes se reproduzem e se desenvolvem. Os manguezais amortecem o impacto das marés e retêm sedimentos trazidos pelos rios, evitando o assoreamento das praias.

Infelizmente, por causa da valorização das regiões onde em geral estão localizados, boa parte dos manguezais já foi degradada. Eles são geralmente aterrados e usados para a especulação imobiliária. Quando casas e prédios são construídos e ocupados, o mar acaba poluído pelo esgoto doméstico produzido. As áreas de manguezal que ainda permanecem sofrem com impactos como o lançamento de produtos químicos por indústrias do litoral, derramamento de petróleo, pesca sem controle e exploração de madeira.

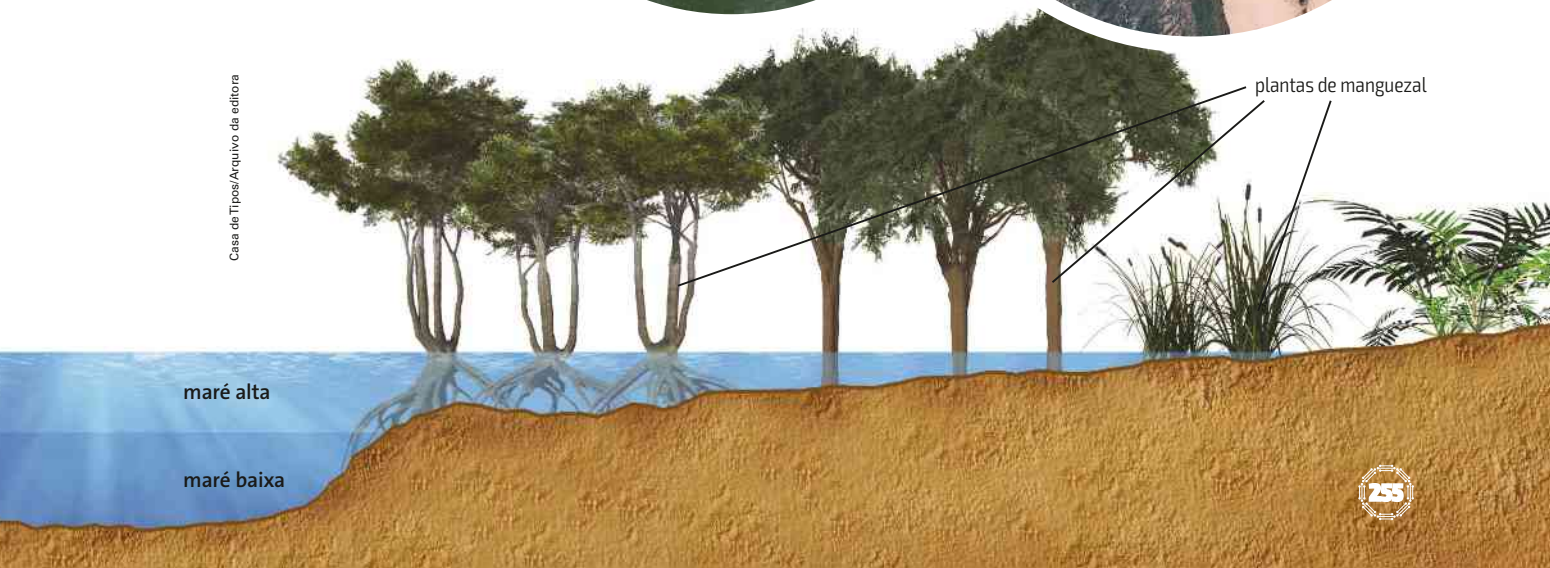
Além do manguezal, encontramos nas zonas litorâneas a **restinga**, uma região arenosa com ervas, arbustos e árvores (figura 19.29).

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.29 Vegetação de restinga na ilha do Cardoso, no estado de São Paulo.

Figura 19.28 **A**: esquema de área de manguezal; **B**: área de manguezal na ilha do Cardoso, litoral sul de São Paulo, em que aparece o mangue-vermelho (*Rhizophora mangle*; até 35 m de altura); **C**: gênero *Avicennia* (cerca de 10 cm de comprimento). (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Fotos: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



Casa de Tipos/Arquivo da editora

3 Ambientes aquáticos

Apesar de o conceito de bioma ter sido desenvolvido para o ambiente terrestre, alguns autores empregam esse termo também para o ambiente aquático, embora seja mais usada como equivalente aos biomas terrestres a expressão **zonas de vida aquática**. Nesse caso, são assim considerados os rios e riachos, os lagos e as lagoas, os estuários, os recifes de corais, a zona litorânea, a zona oceânica e a zona abissal, entre outros.

Entre os fatores que influenciam o tipo de vida encontrado no ambiente aquático estão a salinidade (concentração de sais minerais dissolvidos na água), a luminosidade, a temperatura e o conteúdo de oxigênio dissolvido na água.

Cobrindo aproximadamente 71% do globo terrestre, os oceanos e os mares formam o maior biociclo. Na água, as condições climáticas estão menos sujeitas a mudanças. Por exemplo, a variação de temperatura é bem menor que no meio terrestre por causa da circulação da água, que também contribui para a distribuição uniforme dos constituintes químicos desse biociclo.

A variação da luz em função da profundidade influencia a distribuição dos seres vivos do biociclo marinho.

A **zona eufótica** ou **fótica** (do grego *eu* = bem; *fotos* = luz) é uma região bem iluminada, que vai até cerca de 200 m de profundidade. Ela é rica em seres autotróficos (algas) que realizam fotossíntese. Consequentemente, é rica também em consumidores. Já na **zona afótica** (do grego *a* = sem), que fica abaixo da zona fótica, a intensidade de luz é insuficiente para a realização da fotossíntese e não são encontradas algas. Os seres heterotróficos dessa região dependem da matéria orgânica vinda da zona eufótica.

Em algumas regiões costeiras, existem correntes marítimas, chamadas **correntes de ressurgência**, que levam os sais minerais do fundo para a superfície iluminada. Esse fenômeno aumenta o número de produtores e, em consequência, de consumidores, o que torna a região propícia à pesca (figura 19.30).

Outras regiões de grande produtividade são os recifes de corais, que se desenvolvem em águas quentes (acima de 20 °C) e pouco profundas das regiões tropicais e subtropicais.

Os corais obtêm boa parte de seu alimento de algas que vivem dentro do corpo deles. Em troca, fornecem a elas sais minerais e gás carbônico. As algas também possibilitam aos corais a transformação dos sais de cálcio da água do mar em carbonato de cálcio, base do esqueleto do coral. Além de proteger o litoral da erosão provocada pelas ondas, esses recifes servem de abrigo para imensa variedade de organismos.

Como já vimos, os corais estão ficando brancos. Isso significa que eles estão perdendo suas algas e, sem elas, sua sobrevivência fica ameaçada. Suspeita-se que um dos responsáveis seja o aumento da temperatura provocado pelo aquecimento global do planeta e/ou por outros fenômenos climáticos.

Figura 19.30 Correntes de ressurgência levam a água do fundo, rica em sais minerais, para a superfície. (Os elementos da figura não estão na mesma escala; cores fantasia.)

De acordo com sua capacidade de deslocamento, os organismos aquáticos podem ser divididos em (figura 19.31):

- **plâncton** (do grego *plagkton* = errante) – formado pelo conjunto de seres que se deslocam passivamente na água, arrastados pelas ondas e correntes marinhas: algas microscópicas, protozoários, pequenos crustáceos, larvas de crustáceos (como os copépodes e o *krill*), larvas de vários animais e medusas. Embora muitos desses seres possuam movimentos próprios, são fracos demais para vencer a força da correnteza e das ondas. As algas formam o fitoplâncton (do grego *phyton* = planta), base da cadeia alimentar marinha. Os organismos heterotróficos formam o zooplâncton (do grego *zoon* = animal);
- **nécton** (do grego *nékton* = que nada) – inclui os seres com movimentos ativos, capazes de nadar e vencer as correntes, como os peixes e os mamíferos aquáticos;
- **bentos** (do grego *bénthos* = profundidade) – formados pelos seres que vivem no leito do mar. Alguns são fixos (sésseis), como as algas macroscópicas, as esponjas, as ostras, as cracas e as anêmonas; outros se movem pelo fundo, como as estrelas-do-mar, os caranguejos, os siris e os caramujos.

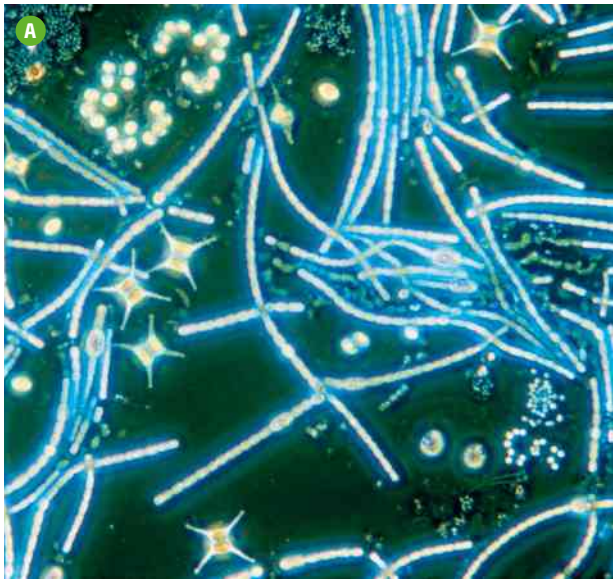


Photo Researchers/Latinstock

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Jubal Harshaw/Shutterstock/Glow Images

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 19.31 Alguns organismos que formam o plâncton, o nécton e os bentos: **A**: algas microscópicas que fazem parte do fitoplâncton (ao microscópio óptico; aumento de cerca de 80 vezes); **B**: copépodo, um crustáceo do zooplâncton (aumento de cerca de 40 vezes); **C**: golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*; cerca de 2 m de comprimento), um representante do nécton; **D**: estrela-do-mar (*Oreaster reticulatus*; cerca de 24 cm de diâmetro), um representante do bentos.

Rios, córregos, lagos, lagoas, pântanos e brejos formam o **limnociclo** ou **biociclo das águas doces**. Como veremos no Capítulo 20, a contaminação da água doce é um dos mais sérios problemas ecológicos causados pelo ser humano. Os rios estão sendo poluídos por lixo industrial, esgotos, agrotóxicos e resíduos de mineração, condenando à morte diversos seres e comprometendo as já escassas reservas de água potável.

Biologia e ambiente

Populações marinhas em perigo

Estima-se que, em média, um terço das espécies marinhas encontra-se ameaçada de extinção, principalmente por causa da pesca em escala industrial, que utiliza grandes navios pesqueiros capazes de localizar os cardumes por satélite ou sonar e de fazer a captura com imensas redes de arrasto (figura 19.32).

Essas redes, puxadas junto ao fundo do mar, acabam arrastando também moluscos, crustáceos e peixes pequenos demais para o comércio, que, em sua maioria, morrem esmagados na própria rede ou no convés dos barcos, muito antes de serem devolvidos ao mar.

Apesar da imensa área marítima, os seres aquáticos estão concentrados em um número relativamente pequeno de "oásis": os recifes de corais, as zonas próximas ao litoral e as zonas de ressurgência. A pesca também se concentra nessas regiões, o que aumenta o risco de extinção das espécies. Alguns cientistas sugerem que a indústria de pesca diminui em 50% o número de peixes capturados por ano.

Além de aumentar o número de áreas protegidas, estão sendo estudados mecanismos legais para regular a exploração em águas internacionais. Apesar dos problemas a curto prazo, essa medida garantiria o futuro das reservas de peixes.

Claro que uma parte dos recursos naturais precisa ser utilizada para atender às necessidades humanas; porém outra parte deve ser preservada, de modo a não provocar desequilíbrios no ambiente e não colocar em perigo a capacidade de sustentação das próximas gerações.

C.K.Ma/Shutterstock/Glow Images

AFM/WWF

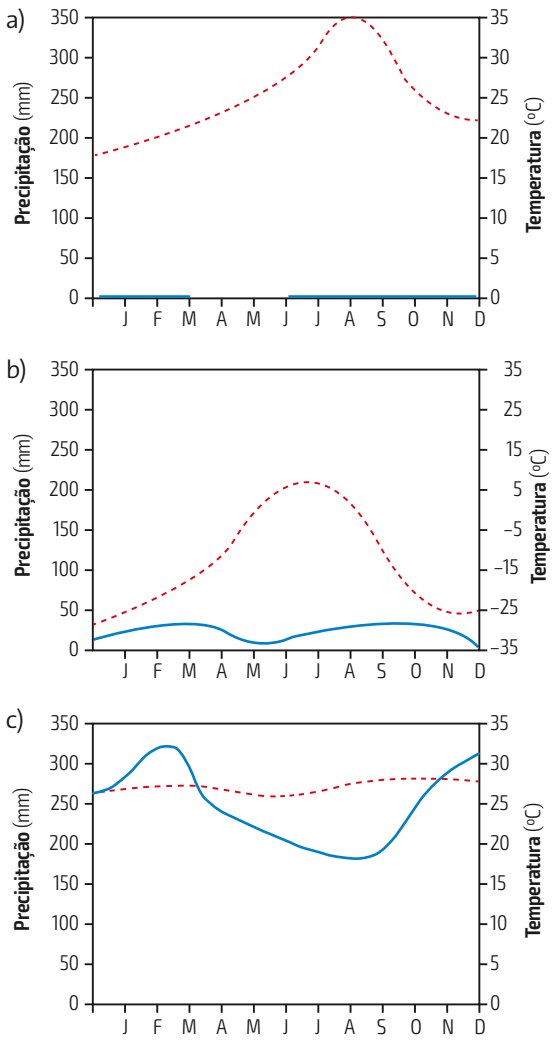
Figura 19.32 A pesca industrial está ameaçando as populações marinhas: **A**: cardume de peixes sobre recife de corais, onde animais aquáticos costumam se agrupar; **B**: homem trabalhando em um navio de pesca industrial. A rede de arrasto captura vários peixes de uma só vez.

Atividades

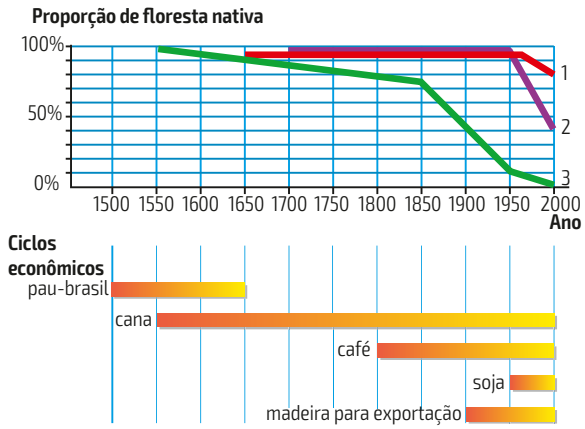
ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Nos gráficos a seguir, a linha vermelha tracejada representa a variação de temperatura ao longo do ano (de janeiro a dezembro) e a linha azul contínua representa a variação da precipitação (chuva, neve, etc.) no mesmo período.

Compare-os e identifique qual corresponde aos biomas: tundra; floresta tropical; deserto. Justifique as respostas. (Observação: não se esqueça de que, no hemisfério norte, é inverno entre dezembro e março.)



2. Um dos gráficos a seguir indica a progressão do desmatamento que ocorreu na Mata Atlântica, na Amazônia e no Cerrado brasileiro ao longo dos anos. O outro indica a duração de alguns ciclos econômicos. Determine o número correspondente a cada ecossistema, o ecossistema mais afetado proporcionalmente à sua área original e o ciclo econômico que mais contribuiu para o desmatamento do Cerrado.



Adaptado de: ALMANAQUE Abril. São Paulo: Abril, 2002.

3. Critique a seguinte afirmativa: "Os manguezais são regiões pantanosas, com mau cheiro e sem importância ecológica ou econômica. Por isso, devem ser aterrados e usados para a instalação de moradias ou de fábricas".

4. (Enem) Sabe-se que uma área de quatro hectares de floresta na região tropical pode conter cerca de 375 espécies de plantas, enquanto uma área florestal do mesmo tamanho em região temperada pode apresentar entre 10 e 15 espécies. O notável padrão de diversidade das florestas tropicais se deve a vários fatores, entre os quais é possível citar:

a) altitudes elevadas e solos profundos.
b) a ainda pequena intervenção do ser humano.
c) sua transformação em áreas de preservação.
X d) maior insolação e umidade e menor variação climática.
e) alternância de períodos de chuvas com secas prolongadas.

5. (Vunesp-SP) Assinale a alternativa que representa, em ordem crescente, os ecossistemas com maior diversidade de vida:

a) floresta tropical pluvial, tundra, taiga, floresta temperada caducifólia.
b) tundra, taiga, floresta tropical pluvial, floresta temperada caducifólia.
c) taiga, tundra, floresta tropical pluvial, floresta temperada caducifólia.
d) taiga, floresta temperada caducifólia, tundra, floresta tropical pluvial.
X e) tundra, taiga, floresta temperada caducifólia, floresta tropical pluvial.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

6. (Unifesp) *Aparecera como um bicho, entocara-se como um bicho, mas criara raízes, estava plantado. Olhou as quipás, os mandacarus e os xiquexiques. Era mais forte que tudo isso, era como as catingueiras e as baraúnas. Ele, sinhá Vitória, os dois filhos e a cachorra Baleia estavam agarrados à terra.*

(Graciliano Ramos. *Vidas Secas*, 1996.)

O trecho menciona algumas árvores da Caatinga (catingueiras e baraúnas), local em que muitas plantas, durante longos períodos de seca, permanecem sem as folhas, que são os principais órgãos fotossintetizantes dos vegetais. No entanto, imediatamente após a primeira chuva, essas árvores rapidamente se cobrem de ramos e folhas verdes.

a) Considerando que tais plantas permanecem longos períodos sem folhas, de onde provém a energia necessária para a produção rápida de biomassa das folhas novas?

b) É válida a afirmação de que, com relação à pluviosidade, a Caatinga e o Cerrado apresentam os mesmos regimes de seca e de chuva ao longo do ano? Justifique.

7. (UFTM-MG) Os manguezais são ecossistemas que se desenvolvem na transição entre o mar e a terra. Muitas plantas que vivem nessas regiões apresentam adaptações que plantas de outras regiões não possuem. A imagem a seguir ilustra uma dessas adaptações, os pneumatóforos saindo do solo.

Chad Zuber/Shutterstock

a) Relacione a presença dessas estruturas vegetais com a característica do ambiente em que elas vivem.

b) Explique, de acordo com a teoria sintética da evolução, como podem ter surgido plantas com pneumatóforos nos manguezais.

8. (UnB-DF) Das associações abaixo, todas mantêm o relacionamento correto de um bioma com o seu respectivo tipo de vegetação, exceto:

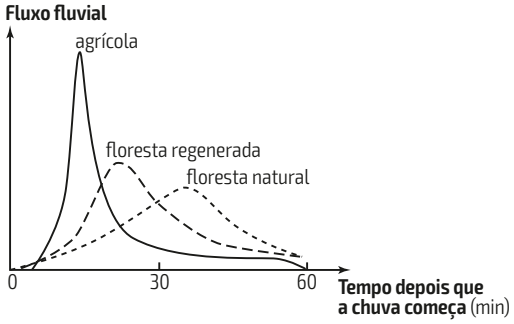
X a) savana – araucárias.

b) deserto – xerófitas.

c) tundra – musgos, liquens.

d) taiga – coníferas.

9. (Enem) O gráfico abaixo representa o fluxo (quantidade de água em movimento) de um rio em três regiões distintas, após certo tempo de chuva.



Comparando nas três regiões a interceptação da água da chuva pela cobertura vegetal, é correto afirmar que tal interceptação:

X a) é maior no ambiente natural preservado.

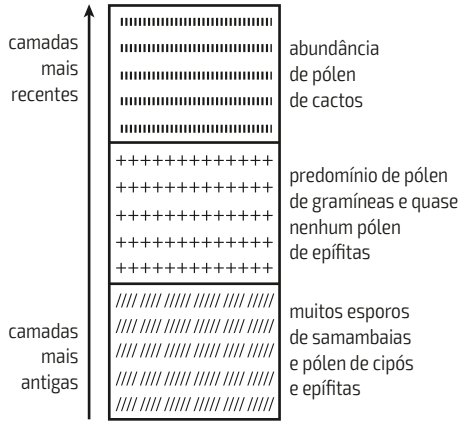
b) independe da densidade e do tipo de vegetação.

c) é menor nas regiões de florestas.

d) aumenta quando aumenta o grau de intervenção humana.

e) diminui à medida que aumenta a densidade da vegetação.

10. (Enem) A análise de esporos de samambaias e de pólen fossilizados contidos em sedimentos pode fornecer pistas sobre as formações vegetais de outras épocas. No esquema a seguir, que ilustra a análise de uma amostra de camadas contínuas de sedimentos, as camadas mais antigas encontram-se mais distantes da superfície.



Essa análise permite supor que o local em que foi colhida a amostra deve ter sido ocupado, sucessivamente, por:

X a) floresta úmida, campos cerrados e caatinga.

b) floresta úmida, floresta temperada e campos cerrados.

c) campos cerrados, caatinga e floresta úmida.

d) caatinga, floresta úmida e campos cerrados.

e) campos cerrados, caatinga e floresta temperada.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

11. (Enem) *Apesar da riqueza das florestas tropicais, elas estão geralmente baseadas em solos inférteis e improdutivos. Grande parte dos nutrientes é armazenada nas folhas que caem sobre o solo, não no solo propriamente dito. Quando esse ambiente é intensamente modificado pelo ser humano, a vegetação desaparece, o ciclo dos nutrientes é alterado e a terra se torna rapidamente infértil.*

(Walter H. Corson, *Manual global de Ecologia*, 1993.)

No texto anterior, pode parecer uma contradição a existência de florestas tropicais exuberantes sobre solos pobres. No entanto, esse fato é explicado pela:

a) profundidade do solo, pois, embora pobre, sua espessura garante a disponibilidade de nutrientes para a sustentação dos vegetais da região.
b) boa iluminação das regiões tropicais, uma vez que a duração regular do dia e da noite garante os ciclos dos nutrientes nas folhas dos vegetais da região.
c) existência de grande diversidade animal, com número expressivo de populações que, com seus dejetos, fertilizam o solo.
d) capacidade de produção abundante de oxigênio pelas plantas das florestas tropicais, consideradas os "pulmões" do mundo.
X e) rápida reciclagem dos nutrientes, potencializada pelo calor e pela umidade das florestas tropicais, o que favorece a vida dos decompositores.

12. (Uece) A variedade de biomas existentes no Brasil reflete a riqueza de espécies vegetais e animais e, por este motivo, o nosso país é o principal dentre os chamados países megadiversos. Muitas das espécies encontradas aqui são endêmicas e muitas plantas, economicamente importantes, são brasileiras. Com relação à biodiversidade, coloque V, para as afirmações verdadeiras, e F, para as falsas.

(///) Atualmente, em virtude da conscientização ecológica, a diversidade biológica se constitui como base das atividades agrícolas no Brasil.
(///) Quanto maior o número de espécies menor a estabilidade dos ecossistemas devido às tensões resultantes da competição nesses ambientes.
(///) A diversidade biológica é mais elevada em áreas quentes e úmidas como acontece em regiões tropicais.
(///) Apesar de ser tipicamente brasileira, a caatinga é um ecossistema pobre em diversidade e, por isso, um dos menos degradados do país.
(///) A introdução de espécies exóticas em um ambiente pode levar à extinção de outras espécies que nele ocorrem naturalmente.

Assinale a alternativa que contém a sequência correta, de cima pra baixo.

a) V, V, F, F, V
X b) F, F, V, F, V
c) V, V, V, F, F
d) F, F, F, V, V

13. (Uerj) Em certos trechos de litoral, como na região do Cabo Frio, Rio de Janeiro, correntes marinhas profundas afloram à superfície. Esse fenômeno, denominado ressurgência, é consequência da disposição peculiar da região costeira e da direção dos ventos e correntes predominantes, proporcionando, nas proximidades da costa, uma maior produção de matéria orgânica por organismos autotróficos. Em relação às águas superficiais, as águas de correntes marinhas profundas apresentam a seguinte característica associada à elevação da produção primária da região de ressurgência:

a) baixa salinidade.
b) temperatura mais alta.
c) baixa taxa de iluminação.
X d) maior teor de sais minerais.

14. (Enem) *Na região semiárida do Nordeste brasileiro, mesmo nos anos mais secos, chove pelo menos 200 milímetros por ano. Durante a seca, muitas pessoas, em geral as mães de família, têm de caminhar várias horas em busca de água, utilizando açudes compartilhados com animais e frequentemente contaminados. Sem tratamento, essa água é fonte de diarreias, parasitas intestinais, e uma das responsáveis pela elevada mortalidade infantil da região. Os açudes secam com frequência, tornando necessário o abastecimento das populações por carros-pipa, uma alternativa cara e que não traz solução definitiva ao abastecimento de água.*

OSAVA, M. Chuva de beber: cisternas para 50 mil famílias. *Revista Eco21*, n. 96, nov. 2004 (adaptado).

Considerando o texto, a proposta mais eficaz para reduzir os impactos da falta de água na região seria

a) subsidiar a venda de água mineral nos estabelecimentos comerciais.
b) distribuir gratuitamente remédios contra parasitas e outras moléstias intestinais.
c) desenvolver carros-pipa maiores e mais econômicos, de forma a baratear o custo da água transportada.
X d) captar água de chuva em cisternas, permitindo seu adequado tratamento e armazenamento para consumo.
e) promover a migração das famílias mais necessitadas para as regiões Sudeste e Sul, onde as chuvas são abundantes.

15. (Uece) Os organismos aquáticos que fazem parte dos ecossistemas marinhos e de água doce são classificados em três grupos de acordo com a sua capacidade de deslocamento. Considerando essa classificação, analise as colunas a seguir e numere a Coluna II (definição) de acordo com a classificação contida na Coluna I.

Coluna I CLASSIFICAÇÃO	Coluna II DEFINIÇÃO
1. Plâncton	(///) Conjunto de seres que têm um deslocamento passivo pela água, ou seja, são arrastados pelas correntes marinhas ou mesmo pelas ondas.
2. Nécton	(///) Organismos que vivem no fundo do mar e que podem ser sésseis (esponjas, algas macroscópicas, cracas, ostras, anêmona) ou locomoverem-se no substrato (siris, caranguejos, caramujos e estrelas-do-mar).
3. Bentos	(///) Seres dotados de movimento ativo e que são capazes de nadar e vencer as correntes. Os melhores exemplos são os peixes e os mamíferos aquáticos.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

a) 2 - 3 - 1.
b) 1 - 2 - 3.
X c) 1 - 3 - 2.
d) 2 - 1 - 3.

16. (UEPG-PR) Sobre Biosfera, identifique e some o que for correto.

(01) Biosfera é o nome que se dá a todo globo terrestre, único planeta conhecido que apresenta condições favoráveis ao surgimento e à manutenção da vida.

(02) A Biosfera é uma camada de pequena espessura, em relação ao tamanho do globo terrestre, constituída de mares, rios, lagos, solo (até poucos metros de profundidade) e atmosfera (a uma altitude de poucos quilômetros), ou seja, ela compreende apenas as partes do planeta que contêm vida.

(04) A Biosfera é dividida em Biomas, que são grandes ecossistemas com características bióticas e abióticas particulares.

(08) Um bioma pode se apresentar em mais de uma região do planeta, como exemplos: a floresta tropical, o deserto e a floresta de coníferas.

02 + 04 + 08 = 14

17. (UFRGS-RS) Plantas de deserto nem sempre apresentam adaptações estruturais para a retenção de água. Considere as afirmações a seguir sobre as estratégias adaptativas dessas plantas.

I. Suas sementes apresentam longos períodos de dormência.

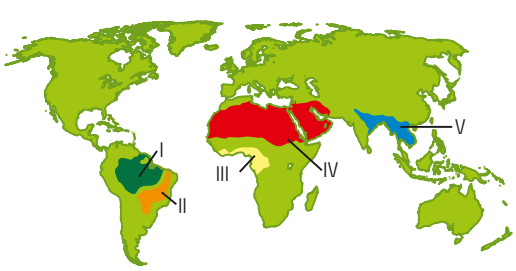
II. Elas germinam e crescem lentamente, após breve período de umidade no solo.

III. Elas cumprem seu ciclo de vida completo – de semente a semente – em um período de vários anos.

Quais estão corretas?

X a) Apenas I.
b) Apenas II.
c) Apenas III.
d) Apenas I e II.
e) I, II e III.

18. (Fuvest-SP) Qual das alternativas indica corretamente o tipo de bioma que prevalece nas regiões assinaladas?



Banco de imagens/Arquivo da editora

a) Floresta tropical em I, III e IV.
X b) Floresta tropical em I, III e V.
c) Savana em I, III e IV.
d) Savana em II, III e IV.
e) Savana em II, IV e V.

Trabalho em equipe

1. Formem grupos de até quatro alunos e escolham um dos biomas brasileiros estudados neste capítulo. Pesquisem as mudanças que vêm ocorrendo nesse bioma e como elas estão afetando animais (inclusive o ser humano) e plantas. Pesquisem e sugiram também medidas que devem ser tomadas para resolver os problemas ambientais e preservar o bioma escolhido. Se possível, peça auxílio para os professores de Geografia e História. Finalmente, apresentem o resultado do trabalho para a classe e a comunidade escolar.

2. Verifiquem se, em sua região, existe alguma universidade, centro de pesquisa ou outra instituição que desenvolva trabalhos nas áreas de ecologia e conservação ambiental, e se é possível agendar uma visita ao local. Aproveitem a oportunidade para entrevistar pessoas que trabalhem no local a respeito do bioma escolhido por vocês.

CAPÍTULO 20

Poluição

Kim Jae-Hwan/AFP PHOTO

Caranguejo (carapaça com cerca de 3 cm de largura) caminha em meio ao petróleo na praia de Sinduri, na Coreia do Sul. Em 2007 houve o derramamento de mais de 10 mil toneladas de petróleo nessa região, sendo considerado o pior desastre ambiental daquele país.

Embora o desenvolvimento tecnológico e a urbanização tenham trazido muitas melhorias na qualidade de vida das pessoas, como o transporte, os utensílios domésticos e o saneamento básico, o crescimento acelerado das cidades e das populações também trouxe problemas. O desmatamento, a impermeabilização do solo por meio da pavimentação das vias e a poluição da água, do ar e do solo são algumas das consequências negativas da ocupação humana do planeta. Vamos conhecer agora alguns desses prejuízos e pensar em formas de amenizá-los.

- *Para onde vai o lixo que produzimos?*
- *Qual o destino do esgoto que sai de nossas casas?*
- *Quais as consequências da poluição para a saúde e o ambiente? O que pode ser feito para diminuir esse problema?*

1 Poluição do ar

A queima de combustíveis fósseis em fábricas, usinas e veículos motorizados lança uma série de produtos tóxicos no ar, além do dióxido de carbono, principal gás causador do aquecimento global (estudado no Capítulo 18).

Um desses produtos, formado na combustão incompleta de combustíveis fósseis e liberado, por exemplo, na fumaça do cigarro, é o **monóxido de carbono** (**CO**). O CO combina-se com a hemoglobina, reduzindo o transporte de oxigênio pelas hemácias e dificultando a oxigenação dos tecidos. Em altas concentrações, o CO pode fazer uma pessoa perder a consciência e morrer asfixiada.

A combustão em veículos e fábricas que usam combustíveis fósseis, como o carvão mineral e os derivados de petróleo, pode produzir também gases com nitrogênio e enxofre, como o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o dióxido de enxofre (SO_2), que irritam os olhos e prejudicam as vias respiratórias e os pulmões.

Além disso, quando se combinam com o vapor de água, geram ácidos, como o nítrico (HNO_3) e o sulfúrico (H_2SO_4), provocando a formação de **chuva ácida**. A água da chuva sem esses poluentes já é ligeiramente ácida por causa do ácido carbônico, formado a partir do gás carbônico do ar, mas a chuva ácida tem o pH menor que 5,6 e por isso altera a composição da água e do solo, prejudicando plantações, florestas e a vida aquática, ela também degrada prédios e monumentos (figura 20.1).

Shutterstock/Glow Images

Figura 20.1 Parede de pedra corroída pela chuva ácida.

Outros poluentes do ar são os hidrocarbonetos, compostos de carbono e hidrogênio emitidos por veículos e fábricas na queima de combustíveis. Alguns, como o benzopireno, são mutagênicos e cancerígenos. Há ainda os poluentes de material particulado, que ficam em suspensão na atmosfera na forma de poeira, fuligem, etc. Esse tipo de material pode irritar os olhos e causar ou agravar doenças respiratórias.

Inversão térmica

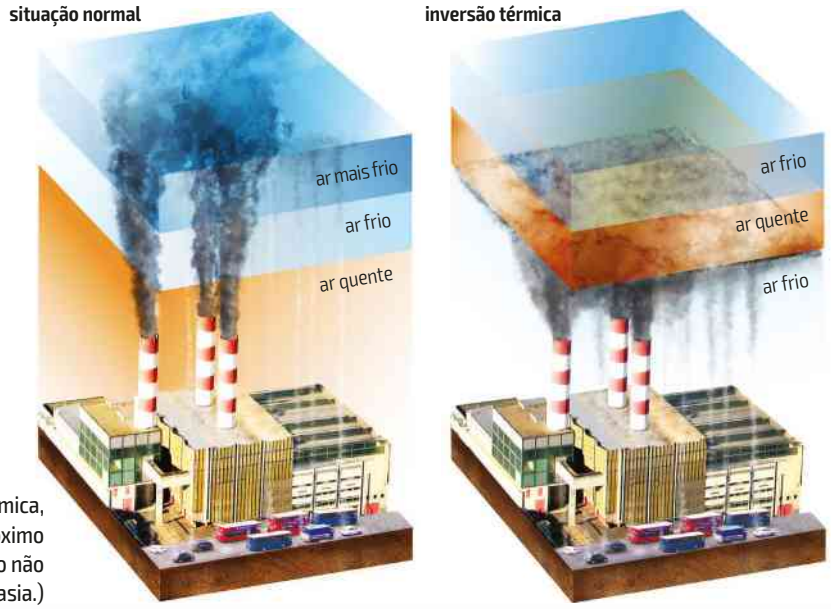
Em situação normal, a temperatura do ar diminui com o aumento da altitude, uma vez que as camadas inferiores de ar são aquecidas pelo reflexo dos raios solares no solo. Com o aquecimento, o ar próximo ao solo fica menos denso que o ar mais frio das camadas superiores, o que faz surgir correntes de convecção, que facilitam a dispersão dos poluentes: uma de ar quente, que sobe; outra de ar frio, que desce e substitui o ar que subiu (figura 20.2).

A convecção é uma forma de transmissão do calor, estudada em Física, que ocorre principalmente em líquidos e gases. Quando esquentamos água numa panela, por exemplo, a camada no fundo se aquece primeiro, fica menos densa (a distância média entre as moléculas aumenta) e sobe, enquanto a água da parte de cima, mais fria, desce e substitui a água que subiu. O processo se repete, formando correntes de convecção.

Porém, em certas condições atmosféricas, como após a passagem de uma frente fria, uma camada de ar quente pode ficar sobre uma camada de ar frio próxima ao solo (figura 20.2). Em cidades situadas em vales rodeados de montanhas, por exemplo, o ar próximo ao solo pode se tornar mais frio que o das camadas superiores. Essa situação é conhecida como **inversão térmica** e ocorre com mais frequência no inverno. Como os raios solares são mais fracos nessa estação do ano, eles não aquecem suficientemente o ar próximo ao solo para que se formem as correntes de convecção, dificultando a dispersão do ar frio das camadas em baixa altitude (100 a 300 metros),

nas quais os poluentes estão sendo produzidos. Com isso, a concentração de poluentes nessa região aumenta, agravando problemas respiratórios, entre outros prejuízos à saúde.

Vejamos algumas medidas para evitar ou diminuir a poluição do ar, sobretudo nas grandes cidades (figura 20.3).



Ilustrações: Julio Dian/Arquivo da editora

Figura 20.2 Por causa da inversão térmica, os poluentes ficam junto ao ar frio, próximo do solo. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Figura 20.3 A poluição do ar é uma questão de saúde pública e exige atenção e acompanhamento por toda a sociedade. Na ilustração, algumas medidas que podem ser tomadas para a redução desse tipo de poluição nas grandes cidades. (Os elementos da ilustração estão fora de escala; cores fantasia.)

Luís Moura/Arquivo da editora

Investimento em transportes coletivos, pois os carros são responsáveis por 90% da poluição do ar (um ônibus transporta em média trinta vezes mais pessoas que um carro).

Substituição dos veículos movidos a combustíveis derivados de petróleo por outros menos poluentes, movidos a eletricidade, biocombustíveis ou gás natural. Este, uma mistura de 90% de metano e 10% de outros gases.

Substituição da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral e petróleo) por fontes renováveis de energia (eólica, solar, hidrelétrica, biomassa), o que diminui a emissão do principal gás responsável pelo efeito estufa, o gás carbônico.

Construção de vias expressas e gerenciamento do tráfego para diminuir os congestionamentos.

Implantação de áreas verdes e de lazer em centros urbanos, pois os vegetais absorvem alguns gases tóxicos.

Controle da qualidade dos combustíveis e da emissão de poluentes pelos veículos automotores.

2 Poluição da água

Um dos problemas mais sérios da poluição da água é o lançamento de substâncias não biodegradáveis, como metais pesados (chumbo, mercúrio, etc.) e poluentes persistentes (que se degradam muito lentamente), como a maioria dos plásticos e alguns agrotóxicos, que tendem a se concentrar ao longo das cadeias alimentares e a intoxicar os seres dos últimos níveis tróficos, como vimos no Capítulo 14.

Poluição por petróleo

Em todas as fases de exploração, refino, transporte e distribuição do petróleo, podem acontecer vazamentos e danos diretos ao ecossistema aquático.

O petróleo liberado na água, por exemplo quando os tanques de navios petroleiros são lavados, adere às brânquias dos peixes, impedindo sua respiração; também se prende às penas das aves e aos pelos dos mamíferos, eliminando o colchão de ar retido entre essas estruturas. O resultado é a perda da capacidade de isolamento térmico. Assim, o animal não consegue se proteger do frio e morre por uma queda da temperatura do corpo abaixo do normal (hipotermia).

Além disso, uma parte do petróleo espalha-se pela superfície da água e forma uma fina película que diminui a passagem da luz e impede a troca de gases necessária à fotossíntese e à respiração dos seres aquáticos (figura 20.4). Com isso, o plâncton é destruído e muitos animais morrem.

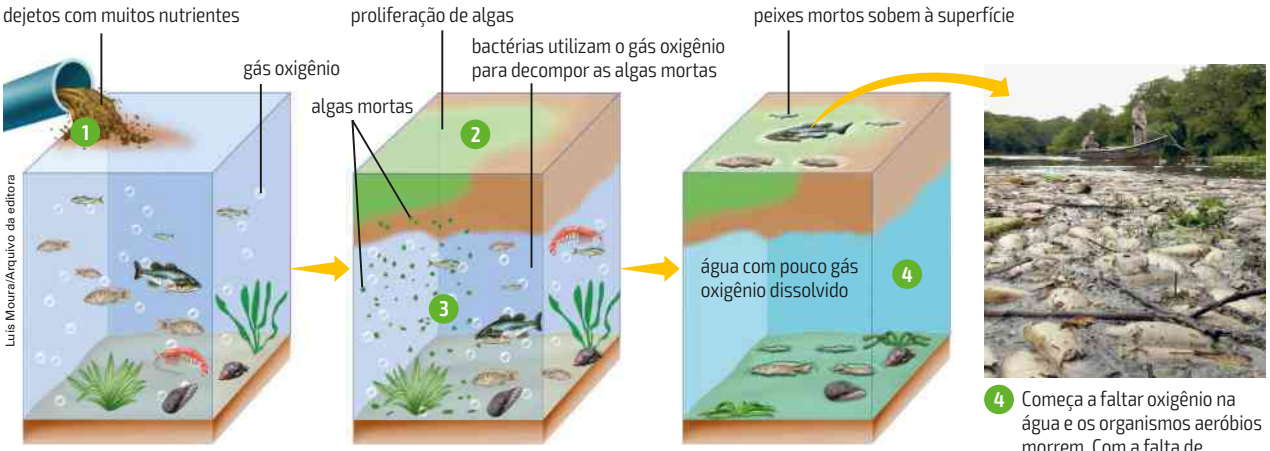
Rogério Santana/Governo do Rio de Janeiro

Figura 20.4 Petróleo derramado sobre a água na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro, em 2011. Nesse episódio foram derramados mais de 550 mil litros de petróleo no mar.

Eutrofização

Quando são lançados esgotos domésticos, ou detergentes, fertilizantes e adubos nas águas de rios e mares, o excesso de minerais (nitratos, fosfatos, etc.) provoca uma série de consequências danosas ao ambiente (figura 20.5).

Esse processo, pelo qual um ecossistema aquático adquire alta taxa de nutrientes (principalmente fosfato e nitrato) e tem como consequência uma grande redução na taxa de oxigênio dissolvido na água, é chamado **eutrofização** ou **eutroficação** (do grego *eu* = bem; *trophé* = desenvolvimento). Pode ser causado pela atividade humana (figura 20.5) ou por um processo natural (eutrofização natural), que ocorre lentamente (em geral ao longo de milhares de anos).



Luís Moura/Arquivo da editora

André Feltes/RBS/Agência Estado

1 O excesso de nutrientes presentes no esgoto causa a proliferação de algas.

2 As algas formam uma camada densa na superfície, diminuindo a luminosidade que chega às algas abaixo da superfície.

3 A morte das algas submersas provoca a multiplicação das bactérias decompositoras, o que aumenta o consumo de oxigênio.

4 Começa a faltar oxigênio na água e os organismos aeróbios morrem. Com a falta de oxigênio, a decomposição da matéria orgânica passa a ser anaeróbia, levando a produção de gases tóxicos, como o gás sulfídrico.

Figura 20.5 Esquema simplificado do processo de eutrofização causado por despejo de esgoto não tratado na água (os elementos das ilustrações não estão em escala; cores fantasia). Na foto, peixes mortos em consequência da falta de oxigênio na água (Rio dos Sinos, RS, 2006).

Em alguns casos, o excesso de nutrientes ou a variação de luminosidade leva à proliferação apenas de certas espécies de algas capazes de liberar substâncias que se concentram ao longo da cadeia, intoxicando peixes e mamíferos aquáticos. Nos locais onde esse fenômeno ocorre, o mar geralmente adquire coloração avermelhada (maré vermelha), provocada pelos pigmentos das algas. Dependendo do tipo de alga, o mar pode adquirir um tom amarelado ou pardo (figura 20.6).

Figura 20.6 A maré vermelha é formada por alguns tipos de alga (como o dinoflagelado *Ceratium furca*; comprimento entre 70 µm e 200 µm, e largura entre 30 µm e 50 µm) que proliferam nesse processo (imagem ao microscópio eletrônico; colorizada por computador).

Poluição térmica

A poluição térmica ocorre quando a água utilizada na refrigeração de usinas que geram eletricidade é lançada em um ecossistema aquático. O aquecimento da água pode prejudicar os animais que não suportam grandes variações de temperatura. Além disso, a quantidade de oxigênio dissolvido na água diminui com o aumento de temperatura, o que pode causar a morte dos seres aeróbios. Para evitar essa poluição, é preciso que o calor da água seja dissipado em poços artificiais.

Possíveis soluções

Ainda que, com a evolução dos processos técnicos, seja possível a limpeza dos rios poluídos, esse processo pode ser demorado e caro. Por isso, o melhor é não poluir. Vejamos algumas medidas que podem ser adotadas.

- Construção de mais biodigestores, aparelhos que decompõem a matéria orgânica do esgoto e do lixo, produzindo gás metano, que pode ser utilizado como combustível. O resíduo sólido pode ser aproveitado como adubo.
- Proibição do lançamento de produtos químicos na água, multando indústrias poluidoras. Metais pesados não devem ser lançados na água, mas armazenados e reaproveitados. É preciso também evitar que baterias com chumbo, mercúrio e cádmio sejam misturadas com o lixo comum. Por lei, os fabricantes têm de implantar um programa de coleta e transporte de pilhas e baterias usadas, e providenciar a armazenagem ou o reaproveitamento dos metais pesados.
- Controle da poluição nos garimpos, com a utilização de tecnologias mais modernas e de aparelhos que reaproveitam o mercúrio.
- Fiscalização da exploração, do transporte e da distribuição de petróleo. Em caso de vazamento, devem-se utilizar técnicas para conter o óleo, removê-lo por meio de barcos com aparelhos de sucção, usar materiais que absorvam o petróleo, etc.
- Melhoria do saneamento básico, aumentando a rede de esgoto.
- Uso correto de fertilizantes e adubos para diminuir a eutrofização da água.
- Desenvolvimento de energias alternativas para diminuir o consumo de petróleo.

Tratamento de água

A água de lagos, rios e represas ou de lençóis subterrâneos – os chamados mananciais, cujo entorno, por lei, não pode ser desmatado nem poluído – é levada para estações de tratamento. Depois de percorrer todas as etapas do processo, a água, agora potável, é levada para grandes reservatórios, de onde é distribuída para a população.

Na estação de tratamento (figura 20.7), inicialmente, a água é colocada em grandes tanques de cimento, onde recebe determinados produtos químicos, como o sulfato de alumínio. Essas substâncias fazem com que as partículas finas de areia e de argila, presentes na água, se juntem e formem partículas maiores, os flocos. Por isso, essa etapa do tratamento é chamada floculação. Nesses tanques também se adiciona hidróxido de cálcio (cal hidratada), que reduz a acidez da água.

A água é então transferida para tanques de decantação, nos quais os flocos vão, aos poucos, depositando-se no fundo. Desse modo, as impurezas sólidas maiores são retiradas da água.

Após algumas horas no tanque de decantação, a água passa por um filtro formado por várias camadas de cascalho e areia. No filtro são retidas as partículas de areia ou de argila que não se depositaram no fundo do tanque anterior. Parte dos microrganismos que existem na água também é eliminada nessa etapa, denominada filtração.

Na etapa final do tratamento, a água recebe substâncias que contêm cloro (cloração), que mata microrganismos que podem causar doenças, e substâncias que contêm flúor (fluoração), que fortalece os dentes da população que bebe essa água.

A água é então levada por encanamentos subterrâneos para grandes reservatórios nos pontos mais elevados da cidade, de onde é distribuída para as casas e outros edifícios.

Nos locais em que não há estações de tratamento, a água é obtida diretamente de rios, lagos, nascentes, represas ou poços.

O tipo mais comum de poço é o raso, em que a água é encontrada a, no máximo, 20 m de profundidade. O poço deve ser construído longe das fontes de poluição e contaminação – a pelo menos 25 m de distância da fossa séptica (onde as fezes e os resíduos são despejados). Deve ter uma tampa impermeável, colocada cerca de 20 cm acima do solo, para impedir a entrada de águas que escorrem pela superfície do solo.

É preciso também que os primeiros três metros do poço sejam revestidos internamente para que fiquem impermeáveis. A água que se infiltra no solo a mais de três metros de profundidade e que entra no poço não representa problema, pois já sofreu um processo de filtração ao atravessar o solo. A água do poço deve passar por uma análise laboratorial para verificar sua potabilidade, ou seja, se ela é própria ou imprópria para o consumo.

É importante que toda a água a ser consumida seja filtrada.

Em certas situações, além da filtragem, a água para beber ou para lavar alimentos, também precisa ser fervida ou tratada com produtos à base de cloro. Esse tratamento é obrigatório quando a água não vem de uma estação de tratamento, não foi analisada por um laboratório ou quando, na região, houver muitos casos de doenças transmitidas por água contaminada.

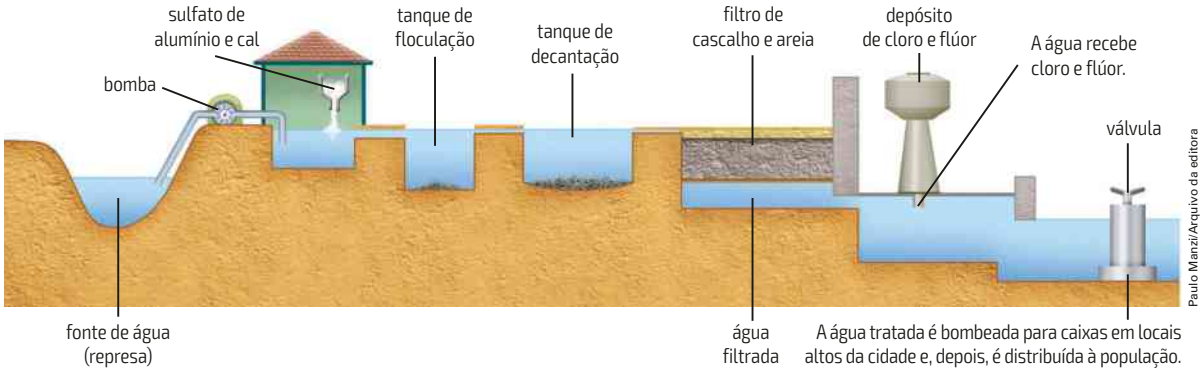


Figura 20.7 Esquema simplificado de uma estação de tratamento de água. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Tratamento de esgoto

Em muitas residências de uma grande cidade, as águas servidas são levadas por uma rede de encanamentos (rede de esgotos) e despejadas diretamente em rios, lagos ou no mar. O mesmo ocorre com a água usada em muitas indústrias e hospitais.

Isso, no entanto, nunca deveria acontecer: é muito importante que o esgoto, antes de ser despejado nos corpos de água, seja tratado, para evitar a poluição e a contaminação dos mananciais.

Em uma estação de tratamento de esgoto (figura 20.8), o material passa inicialmente por grades de metal, que funcionam como uma peneira, segurando latas, papéis, vidros, plásticos e outros objetos. Esses materiais são levados para os chamados aterros sanitários, onde o lixo é depositado.

Em seguida, o esgoto passa devagar por reservatórios, no fundo dos quais a terra, a areia e outras partículas grandes se depositam. O material depositado é removido e levado para outros locais, onde é enterrado.

O esgoto mais líquido, que ficou na parte de cima dos reservatórios, ainda contém um material sólido mais fino, com partículas menores, como ovos de parasitas e matéria orgânica, que, por ser mais leve, demora mais tempo para se depositar. Por isso, o esgoto passa bem lentamente por imensos tanques de decantação. No fundo desses tanques, forma-se, então, um lodo, rico em matéria orgânica.

O lodo do esgoto costuma ser levado para uma espécie de reservatório fechado, o biodigestor, onde bactérias anaeróbias fazem a decomposição da matéria orgânica e produzem o gás metano, que pode ser usado como combustível.

A parte líquida, que ficou acima do lodo, vai para um novo tanque. Nesse tanque a matéria orgânica restante dissolvida na água é atacada por bactérias aeróbias, que decompõem a matéria orgânica e produzem gás carbônico, água e outros minerais. Se não houver oxigênio suficiente para as bactérias aeróbias, haverá decomposição anaeróbia, com a produção de gases tóxicos; por isso, para garantir a oxigenação do material, ele é agitado por meio de grandes hélices.

Os esgotos industriais precisam de tratamentos especiais para eliminar as substâncias tóxicas.

Medidas individuais

Em lugares sem rede de esgotos, é preciso encontrar soluções individuais para o descarte das águas servidas. Uma medida possível é a construção de fossas.

Antes, porém, de construir qualquer sistema para recolher dejetos, é importante procurar a prefeitura para saber qual o melhor tipo para cada situação. Além disso, qualquer vazamento de esgoto deve ser comunicado imediatamente ao serviço de água e esgotos da localidade.

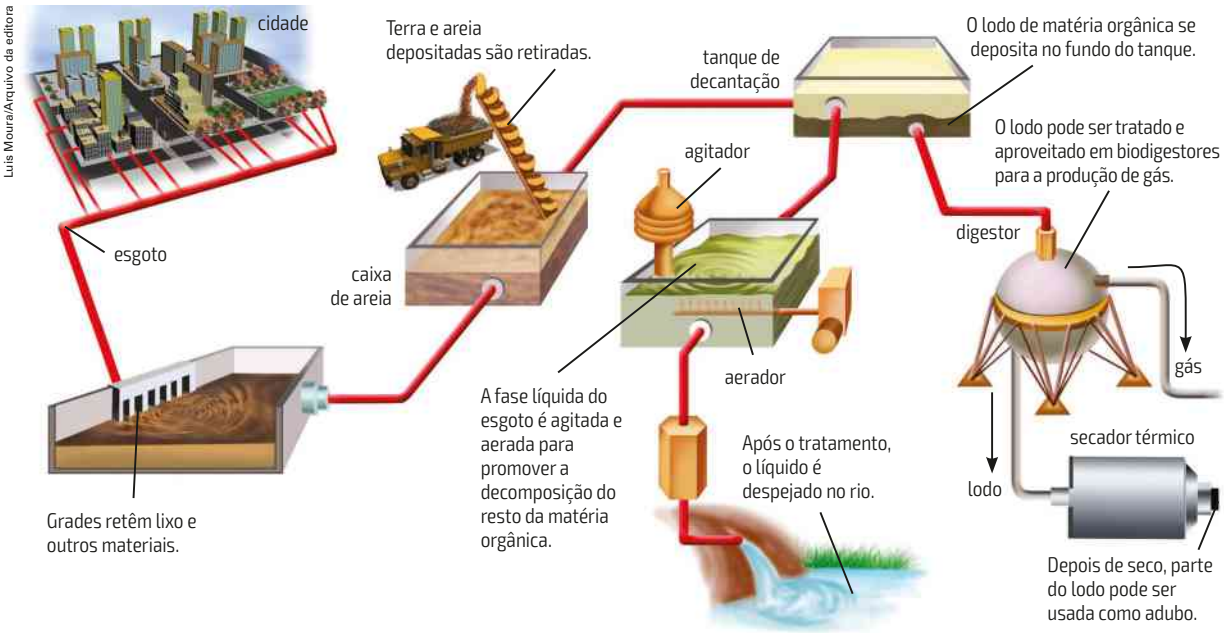
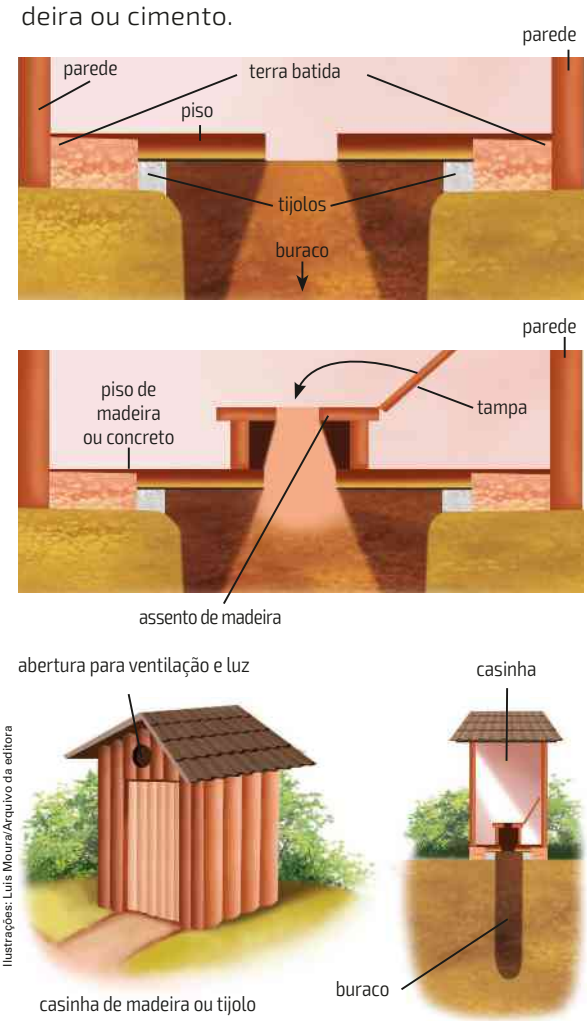


Figura 20.8 Esquema simplificado de uma estação de tratamento de esgoto. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

A fossa seca é uma solução sanitária precária, usada em locais que não têm acesso a água encanada. Nessa fossa não são lançadas a água usada para lavar roupas e utensílios ou a água do banho ou de descarga. Vem daí o termo "fossa seca". São simples buracos no chão, de 2 m a 3 m de profundidade e 1 m de diâmetro, onde se podem lançar as fezes e a urina (**figura 20.9**). A fossa seca não deve ser muito funda para não contaminar o lençol de água subterrâneo.

Sobre o buraco, coloca-se um piso de madeira ou de concreto com uma abertura para a passagem das fezes e da urina, e sobre esse piso é colocado um assento com uma tampa. A tampa deve ser mantida fechada para impedir que moscas e outros animais entrem em contato com os resíduos e depois contaminem a água e os alimentos. Como abrigo da fossa, deve-se construir uma pequena casa de madeira ou cimento.



Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Figura 20.9 Construção de uma fossa seca. (Os elementos das ilustrações não estão na mesma escala; cores fantasia.)

A fossa deve ficar a, pelo menos, 25 m de distância do poço, em nível mais baixo que ele, e 1,5 m acima do nível do lençol subterrâneo, para evitar a contaminação da água. Mesmo assim, antes de consumir a água do poço, é preciso filtrá-la e depois clorá-la ou fervê-la.

Dentro da fossa, os resíduos sofrem decomposição pela ação das bactérias. Os líquidos se infiltram na terra e os gases saem pela abertura do assento. Para diminuir o mau cheiro, deve-se jogar periodicamente um pouco de terra misturada com cal sobre os resíduos. Após alguns anos, o buraco deverá ser tapado com terra, e outra fossa deve ser construída.

Uma solução melhor é a fossa séptica, onde se joga toda a água que foi usada na casa. A fossa não deve ser feita em locais em que, ao cavar o buraco, seja encontrada água. O papel usado na limpeza pessoal também deve ser jogado dentro da fossa.

Consiste em um tanque subterrâneo de concreto com mais de mil litros de volume. A parte sólida e orgânica do esgoto despejada na fossa vai, aos poucos, se decompondo, com a formação de um material líquido.

Por um cano, esse líquido passa para uma escavação um pouco maior, o sumidouro, que fica em nível mais baixo que o da fossa. O sumidouro tem paredes de concreto, mas o fundo é de terra ou de pedras, para permitir a absorção da parte líquida (**figura 20.10**).

A fossa séptica e o sumidouro devem ficar distantes da fonte de água potável para evitar sua contaminação. A construção, a limpeza periódica (pelo menos uma vez por ano) e a manutenção da fossa séptica devem ser feitas por pessoas especializadas.

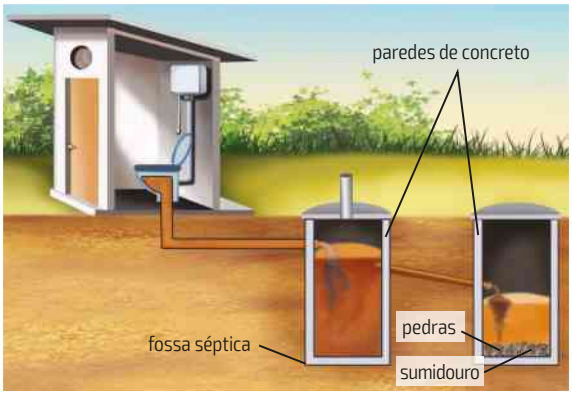


Figura 20.10 Esquema simplificado de uma fossa séptica. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)

3 Destruição dos solos

A destruição progressiva da vegetação nativa para a agricultura, para a obtenção de madeira e minérios, e para a urbanização diminui a proteção natural do solo contra a erosão.

Erosão acelerada

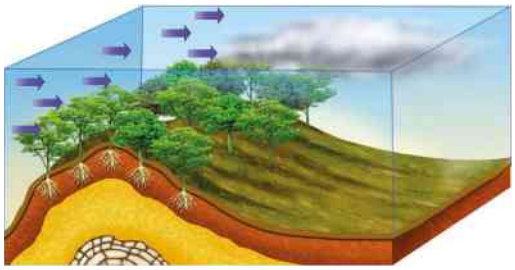
Fenômeno natural e lento, a erosão ocorre quando o impacto das chuvas desagrega as partículas que formam a camada superficial e mais fértil do solo, facilitando seu transporte pela água das chuvas e pelos ventos de regiões mais altas para rios, lagos, oceanos e vales. Esse processo é equilibrado pela desagregação natural das rochas, mas, quando o ser humano interfere na natureza, com desmatamento e queimada de florestas, por exemplo, essa compensação deixa de existir, e o processo é acelerado. A erosão provoca também o **assoreamento** dos rios, o que facilita transbordamento e inundações.

A cobertura vegetal protege o solo de várias maneiras. A copa das árvores impede que a chuva caia fortemente no solo e retire sua camada superficial; as raízes ajudam a reter as partículas do solo. Essa proteção também é importante para evitar a lixiviação, isto é, impedir que os sais minerais sejam levados pela água das chuvas para as camadas mais profundas do solo, onde as raízes não podem alcançá-los. As árvores impedem ainda a erosão do solo pela ação direta dos ventos (figura 20.11).

Outro fator erosivo é a substituição da mata original por lavoura, o que deixa o solo exposto boa parte do ano. As plantas cultivadas não fornecem a mesma proteção que a cobertura original: suas raízes são curtas e espaçadas, incapazes de reter bem o solo e de absorver os sais que foram levados para as camadas mais profundas depois do desmatamento.

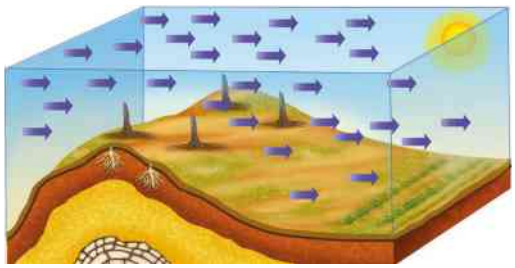
Outro problema é que, nas plantações, a reciclagem de nutrientes fica prejudicada, pois o ser humano, ao fazer a colheita, retira os nutrientes do ambiente, impedindo que retornem ao solo.

A



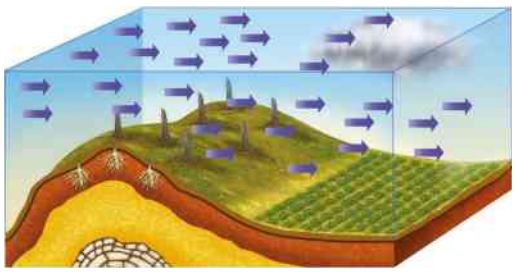
A vegetação natural protege o solo contra a ação dos ventos, do sol e das enxurradas.

B



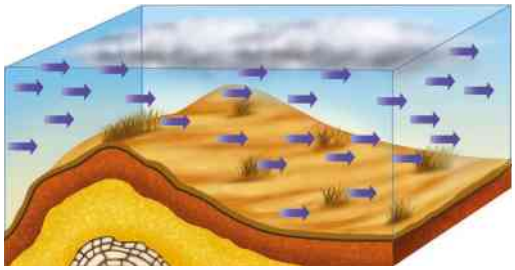
O desmatamento facilita o início da erosão: chuvas e ventos carregam a camada superficial do solo, empobrecendo-o.

C



O solo é atingido pelos raios solares. Os ventos e as chuvas intensificam a erosão.

D



Ilustrações: Luis Moura/ Arquivo da editora

O solo fica parecido com o de um deserto, não oferecendo condições para a agricultura.

R-P/Kino.com.br

Figura 20.11 Esquema simplificado das etapas do processo de erosão e, na foto, exemplo de solo desmatado e erodido pela ação das chuvas. (Os elementos das ilustrações não estão na mesma escala; cores fantasia.)

O desmatamento por queimadas, prática realizada para preparar o terreno para a agricultura, aumenta o aquecimento global e destrói os microrganismos decompositores responsáveis pela reciclagem dos nutrientes (figura 20.12). Assim, a fertilidade inicial resultante dos sais minerais presentes nas cinzas é passageira. Sem a reciclagem e o depósito de folhas e animais mortos, o húmus se esgota em dois ou três anos. É crime ambiental derrubar matas em áreas preservadas por lei e promover queimadas para fins agropecuários sem autorização.

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 20.12 Queimada nas proximidades da cidade de Porto Velho, RO, em 2015.

Quando intensiva, a criação de gado também pode destruir o solo, visto que cada área só tem condições de manter determinado número de animais herbívoros. A pastagem e o pisoteio excessivos destroem a vegetação de tal forma que ela não consegue mais se regenerar, ocorrendo o esgotamento do solo e a erosão.

O mau uso da terra acelera a erosão e provoca em algumas regiões a formação ou a expansão das condições típicas dos desertos, processo chamado **desertificação**. Com a retirada da vegetação, diminuem a transpiração, a formação de nuvens e a quantidade de chuvas na região, e o clima fica mais seco.

A vegetação nas margens de rios e lagos, chamada **mata ciliar** ou galeria, ajuda a segurar a terra. Se essa vegetação for retirada, a erosão provocará o acúmulo de sedimentos no fundo do rio, que fica mais raso e com menor capacidade de escoamento.

Fique de olho!
Sem a cobertura da vegetação, as encostas dos morros correm risco maior de desmoronar, provocando desabamentos de terra com graves consequências.

Biologia e ambiente

Desastre da barragem em Minas Gerais

O estado de Minas Gerais tem sua história ligada à extração de minérios. No final do século XVII, os bandeirantes começam a encontrar ouro na região. O chamado Ciclo do Ouro no Brasil teve seu ápice entre os anos de 1750 e 1770, com Minas Gerais como importante fonte de exploração (figura 20.13).

Rubens Chaves/Pulsar Imagens

Figura 20.13 Centro da cidade de Mariana, MG. Foto de junho de 2015.

Atualmente, o principal produto de uma empresa mineradora que atua na região de Mariana, em Minas Gerais, é o minério de ferro, em grande parte, destinado à exportação.

A empresa funciona na região desde o fim da década de 1970 e nos últimos tempos produzia aproximadamente 30 milhões de toneladas/ano.

Para a obtenção do minério de ferro com maior valor comercial (pelotas de ferro) é necessário que haja um processo conhecido como beneficiamento. Esse processo consiste em retirar as impurezas e, por consequência, aumentar o teor de ferro do produto. O material que é descartado durante o processo de beneficiamento é chamado rejeito. Ele é constituído por resíduos sólidos (sem valor econômico) e água.

A fim de evitar que o rejeito cause danos ao meio ambiente, são construídas barragens para armazená-lo. A composição do rejeito de uma das barragens, conhecida como do Fundão, era basicamente água, quartzo (areia) e óxido de ferro, não sendo, portanto, considerado um rejeito tóxico.

No dia 5 de novembro de 2015 houve um rompimento dessa barragem, despejando cerca de 60 milhões de m^3 de rejeito (ou 60 bilhões de litros; volume aproximado de 25 mil piscinas olímpicas).

A enxurrada de rejeito causou destruição de 82% das edificações de Bento Rodrigues, subdistrito do município de Mariana, causando prejuízos inestimáveis para toda a região (**figura 20.14**).

Mauricio Simonetti/Pulsar Imagens

Figura 20.14 Lama solidificada sobre ruínas em Mariana, MG. Foto de dezembro de 2015.

Até fevereiro de 2016, 17 mortes foram confirmadas, enquanto duas pessoas continuavam desaparecidas. Além disso, mais de 300 famílias ficaram desabrigadas e vários tipos de animais morreram.

Em poucos dias, o rejeito atingiu duas bacias hidrográficas: a do rio Gualaxo do Norte e a do rio Doce. Por este rio, o rejeito seguiu até atingir o oceano, no litoral do Espírito Santo (**figura 20.15**), um trajeto de mais de 700 km.

Ricardo Moraes/REUTERS

Figura 20.15 Vista áerea da foz do rio Doce, no litoral do município de Linhares, ES, após a chegada dos rejeitos. Foto de 23 de novembro de 2015.

Ao todo, estima-se que 40 municípios tenham sido afetados pelo desastre, entre os municípios de Mariana, em Minas Gerais, e Linhares, no Espírito Santo. O comprometimento no abastecimento de água impactou cerca de 500 mil pessoas.

Os principais impactos ambientais causados nos rios foram: assoreamento, soterramento das margens e aumento da turbidez (ou opacidade) da água. O assoreamento pode alterar a dinâmica do rio (enchentes, por exemplo) e sua topografia (como a mudança de curso); o soterramento das margens pode acabar com a mata ciliar; e o aumento da turbidez prejudica (pode até impedir) a fotossíntese, afetando primeiramente os produtores da teia alimentar e impactando todo o ecossistema.

Para ter uma ideia do impacto do rompimento da barragem sobre os animais da região, estudos mostram que no rio Doce havia 11 espécies de peixes ameaçadas de extinção e 12 espécies de peixes endêmicas do rio, por exemplo. Após o rompimento, foram recolhidas mais de 8 toneladas de peixes mortos entre os estados de Minas Gerais e do Espírito Santo.

É difícil estimar a dimensão do impacto causado pelo rompimento. Em termos físico-químicos, acredita-se que em poucos anos os rios da região retornem a uma condição próxima daquela encontrada antes do rompimento; em relação aos seres vivos impactados, acredita-se que o dano seja reversível, mas não existe estimativa de tempo e tampouco se sabe se as comunidades de seres vivos que se estabelecerão na região serão semelhantes às encontradas antes do rompimento.

O Ministério Público (MP) de Minas Gerais encontrou falhas no processo de licenciamento da barragem, como emissão de licenças pelas autoridades competentes mediante um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) que não apresentavam algumas informações de extrema relevância.

Somente para reparos ambientais, devem ser gastos aproximadamente R$ 20 bilhões; somam-se a essa conta indenizações para as famílias atingidas, multas do Ministério Público (MP) e dos órgãos ambientais (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis – Ibama e Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Semad).

O rompimento da barragem do Fundão é considerado o maior desastre ambiental no Brasil; e o maior desastre no mundo, considerando apenas empreendimentos de mineração e/ou extravasamento de lama/rejeito.

Fontes de pesquisa: <www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>; <http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragem-de-rejeitos-se-rompe-em-distrito-de-mariana.html>; <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/11/06/o-que-se-sabe-sobre-o-rompimento-das-barragens-em-mariana-mg.htm>; <www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201_dados_mariana_cc>. Acesso em: 21 mar. 2016.

Defensivos agrícolas

Em geral, as culturas agrícolas são muito sensíveis ao ataque de pragas, o que é particularmente perigoso nas monoculturas, nas quais insetos e outros organismos parasitas (como fungos) se propagam com muita facilidade por causa da proximidade entre as plantas e da ausência de predadores naturais.

Por isso, o ser humano desenvolveu diversos tipos de defensivos agrícolas, também chamados pesticidas ou agrotóxicos. Esses compostos protegem as sementes, as plantações e os alimentos estocados contra o ataque de pragas.

A degradação de alguns pesticidas, como os organoclorados, dos quais o diclorodifeniltricloroetano (DDT) é um exemplo, é lenta e eles tendem a se acumular ao longo das cadeias alimentares, como vimos no Capítulo 14. Outro problema é o envenenamento do agricultor por absorção direta, através da pele, dos olhos e das vias respiratórias, caso não se proteja com máscara, luvas e macacão (figura 20.16). Na maioria dos países, incluído o Brasil, o uso do DDT e de outros organoclorados é proibido e utilizam-se outros grupos, como os organofosforados e os carbamatos, cuja degradação é mais rápida (entre uma e doze semanas). Mas esses produtos também podem ser tóxicos para quem os aplica se forem usados sem a devida proteção.

Os agrotóxicos destroem sem distinção vários tipos de insetos, até mesmo aqueles que se alimentam de pragas nocivas, como o louva-a-deus, as vespas e a joaninha. Eles matam também outros insetos como as abelhas e as borboletas, responsáveis pela polinização.

Ricardo Azoury/Pulsar Imagens

Figura 20.16 Aplicação de agrotóxico. Observe que as pessoas estão devidamente protegidas.

O uso prolongado de inseticidas favorece as linhagens que resistem naturalmente a seus efeitos. Com isso, as populações de insetos passam a ser formadas por grande número de indivíduos resistentes.

Possíveis soluções

O solo deve ser cultivado de modo que diminua ao máximo a erosão e o esgotamento dos seus minerais com técnicas como a rotação de culturas, alternando, por exemplo, plantações de cereais e de leguminosas, que repõem no solo o nitrogênio retirado pelos cereais, como vimos no Capítulo 18.

Em alguns casos, quando o solo está muito compacto e duro, é preciso arar a terra: ela é revolvida para que o solo fique mais poroso e permita a entrada do ar e da água. No entanto, o uso de trator em solos de países tropicais pode acelerar a erosão, porque nesses solos a camada fértil é pouco profunda. Nesse caso, o solo pode ser preparado com o mínimo de movimentação, muitas vezes sem aração. Na técnica conhecida como plantio direto, não há aração e a semente é colocada em pequenos sulcos. Além disso, boa parte da superfície do solo deve ficar coberta com palha seca da plantação anterior, o que diminui o impacto da água da chuva no solo.

Nas encostas, onde a erosão é maior, as plantações podem ser feitas em degraus ou terraços, que reduzem a velocidade de escoamento da água e ajudam a retê-la. Em encostas não muito inclinadas, em vez de plantar as espécies no sentido do fluxo da água, deve-se formar fileiras em um mesmo nível do terreno, deixando espaço entre as carreiras. Cada linha onde ficam as plantas é chamada **curva de nível** (figura 20.17).

Ernesto Reghran/Pulsar Imagens

Figura 20.17 Vista aérea de curvas de nível em propriedade rural em Bela Vista do Paraíso, PR. Foto de 2015.

Outra técnica para minimizar a erosão é a cultura em faixas, em que fileiras de plantas que cobrem o solo completamente alternam-se com outras fileiras que deixam o solo mais exposto.

Ao lado de áreas destinadas a culturas, deve ser preservada uma região com vegetação natural, ocupando áreas críticas, como as encostas íngremes e as margens de rios e lagos. Além de evitar a erosão e o assoreamento, a vegetação natural contribui para a preservação das espécies selvagens e desvia a ação das pragas para plantas não produtivas.

Os agrotóxicos devem ser vendidos apenas com receita de um agrônomo – o que já é obrigatório por lei – e utilizados sob sua supervisão, para que sejam aplicadas doses mínimas do produto e na época adequada, respeitando o prazo da colheita e da comercialização do alimento. Além disso, eles devem ser usados de forma cuidadosa e seletiva mesclados a outras técnicas em um processo chamado **manejo integrado de pragas**. Nessa estratégia são utilizadas práticas agrícolas, como o plantio direto e a rotação de culturas, barreiras físicas e armadilhas contra insetos, e o **combate** ou **controle biológico**, que consiste em atacar a praga com seus predadores ou parasitas naturais (ou com produtos produzidos pelos parasitas). Por exemplo: contra os pulgões, insetos que atacam o milho e o trigo, soltam-se joaninhas para comê-los (figura 20.18). Para destruir lagartas que atacam as folhas, pode-se usar certos besouros predadores. O combate biológico é muito eficiente com parasitas, pois muitos deles são altamente específicos. Alguns exemplos: o baculovírus (*Baculovirus anticarsia*), vírus não tóxico que ataca apenas a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*); o fungo *Metarhizium anisopliae*, que combate a cigarrinha da cana-de-açúcar; as vespas *Trichogramma pretiosum* e *Trichogramma atopovirilia*, que controlam pragas do milho e do tomate – todos produzidos e comercializados no Brasil.

J. Calev/Shutterstock/Glow Images

Figura 20.18 Joaninha (cerca de 10 mm de comprimento) alimentando-se de pulgão (cerca de 2 mm de comprimento): predatismo como controle biológico.

Outra forma de combater parasitas consiste em produzir e soltar na natureza machos estéreis de insetos que atacam plantações. As fêmeas que copulam com esses machos depositam ovos não fecundados, que não se transformam em larva nas frutas. Uma empresa em Juazeiro (BA), por exemplo, produz machos estéreis da *Ceratitis capitata* (mosca-do-mediterrâneo), causadora de prejuízos no cultivo de frutas do Vale do São Francisco.

Também podem ser usados os feromônios, substâncias eliminadas por um organismo que produzem mudanças de comportamento em outros organismos da mesma espécie. Os feromônios podem ser usados para atrair para armadilhas insetos que atacam as plantações ou para atrair os predadores desses insetos. A vantagem é que, ao contrário dos pesticidas, o uso de feromônios não atinge outros animais nem traz risco para a saúde de consumidores e de agricultores.

4 Resíduos sólidos

Uma das maiores agressões ao meio ambiente são os **resíduos sólidos** de áreas urbanas, popularmente chamados **lixo**.

Se não receber tratamento e destino adequados, os resíduos podem poluir e contaminar o solo e os ambientes aquáticos, provocando doenças. Pode também obstruir bueiros e cursos de água, provocando enchentes, entre outros problemas. Vejamos algumas formas com que as cidades lidam com seus resíduos sólidos.

Lixão

Os **lixões** são terrenos onde o lixo fica amontoado ao ar livre sem nenhum cuidado (figura 20.19).

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 20.19 Lixão em Poconé, MT, em 2013. Animais que se alimentam nesses depósitos de lixo, como urubus, ratos e insetos podem contribuir na proliferação de doenças.

A matéria orgânica em decomposição atrai insetos, ratos, urubus e outros animais que podem se contaminar e transmitir doenças. Além disso, a decomposição da matéria orgânica do lixo produz um caldo malcheiroso, o **chorume**. No chorume podem ser encontrados, ainda, produtos tóxicos, como o chumbo e o mercúrio, que se originam de tintas, pilhas, lâmpadas fluorescentes, etc.

Quando o chorume é carregado pelas chuvas, pode contaminar os rios e a água subterrânea que abastecem os poços domésticos. O lixão é, portanto, uma péssima solução para o lixo.

Aterro sanitário

No **aterro sanitário**, os resíduos sólidos são depositados em trincheiras abertas no solo. Essas valas são forradas com uma manta impermeável que protege o solo contra a contaminação (figura 20.20). O aterro também possui sistemas de escoamento do chorume e da água das chuvas, além de uma tubulação para a saída de gases — principalmente do gás metano, que é produzido na decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbias e pode ser queimado, servindo de fonte de energia.

Um trator espalha e amassa o lixo, compactando-o. Depois, essa camada de lixo é coberta com terra – que também é compactada – ou com manta impermeável. Uma nova camada de resíduos pode então ser depositada sobre a primeira.

Se for bem construído, o aterro sanitário não polui o ambiente e sua camada impermeabilizante protege a água dos rios e o lençol freático. O problema é que o aterro sanitário necessita de áreas muito grandes, é mais caro que o lixão e tem capacidade de utilização limitada: a vida útil de um aterro gira em torno de vinte anos.

Incineração

A **incineração** é a queima controlada do lixo em equipamentos especiais. Apresenta a vantagem de reduzir bastante o volume de resíduos, diminuindo também as áreas necessárias para aterro. Além disso, destrói os organismos que causam doenças.

Certos componentes do lixo, no entanto, produzem gases tóxicos ao serem queimados. Nesses casos, é necessário instalar equipamentos para evitar a poluição do ar, o que encarece o processo.

Depois da queima do lixo, sobra um volume muito menor de resíduos, que pode ser encaminhado para os aterros sanitários.

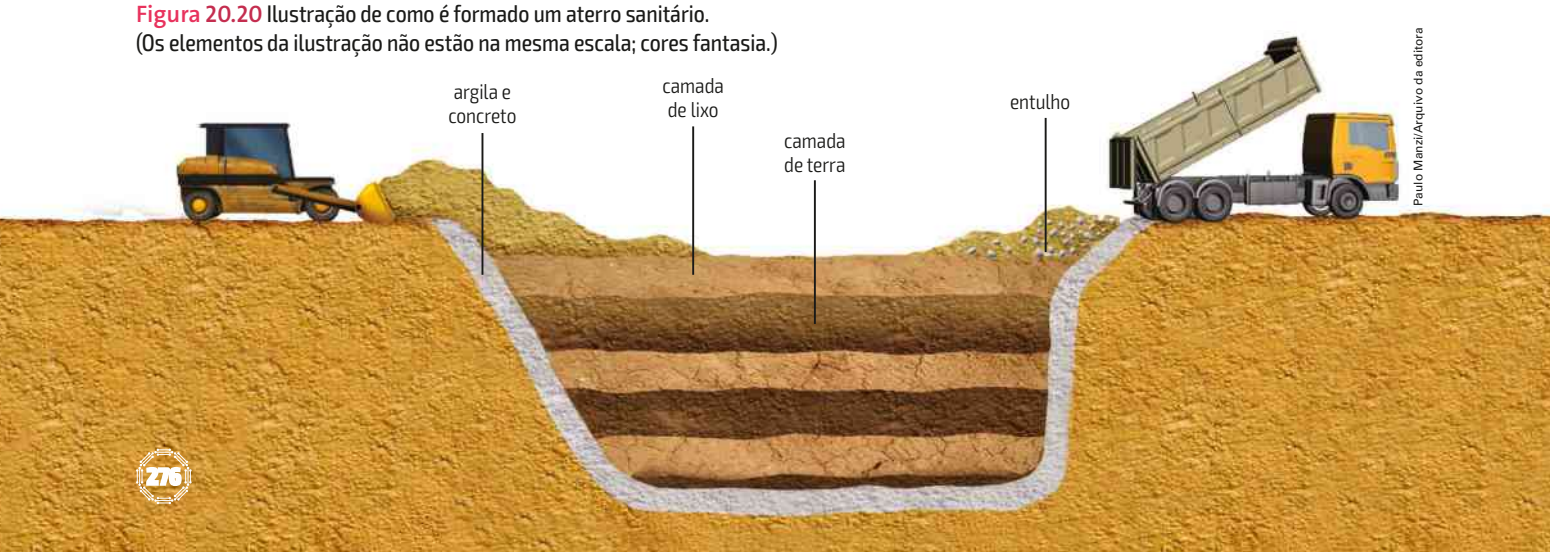
Compostagem

A **compostagem** transforma os restos orgânicos do lixo em matéria orgânica, chamada **composto**, que pode ser utilizada como adubo. O composto resulta da decomposição aeróbia parcial da matéria orgânica em condições controladas em usinas de triagem e compostagem de lixo. É preciso retirar do lixo o material não orgânico, que não pode ser decomposto. O lixo orgânico é então triturado e levado para equipamentos que aceleram o processo de decomposição e produção do adubo (figura 20.21). Porém, é preciso tomar cuidado e verificar se o lixo não está contaminado com produtos tóxicos.

Roosevelt Cassio/Folhapress

Figura 20.21 Funcionários selecionando lixo em usina de compostagem em São Paulo. Foto de 2004.

Figura 20.20 Ilustração de como é formado um aterro sanitário. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia.)



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Além do adubo, a decomposição do lixo orgânico pode produzir gases que serão aproveitados como combustível. Nesse caso, a matéria orgânica é depositada em recipientes, os biodigestores, onde será produzido o **biogás** (uma mistura de gases combustíveis), além de fertilizantes.

A compostagem diminui o volume de lixo que vai para os aterros sanitários, mas é necessário que haja demanda para o composto, a fim de reduzir os custos do processo.

Reciclagem

Reciclagem é o reaproveitamento pela indústria de materiais total ou parcialmente recuperáveis, como plásticos, papéis, metais e vidros. O material orgânico deve ser separado e encaminhado para usinas de compostagem.

O processo de reciclagem do papel gasta menos energia do que a produção de papel com a celulose de árvores. Ao reciclar o papel, evitamos que árvores sejam derrubadas e economizamos energia. Cada tonelada de papel reciclado contribui para preservar cerca de vinte árvores. Ainda assim, é preciso evitar o desperdício, usando papel apenas quando necessário.

A reciclagem de alumínio ocorre no Brasil desde a década de 1920, quando o país importava sucata para produzir os primeiros utensílios feitos com o material. Já na década de 1990, iniciou-se a produção de latas de alumínio no Brasil, intensificando a reciclagem do metal. Em 2014, o Brasil reciclou 540 mil toneladas de alumínio e se manteve no primeiro lugar em reciclagem desse material.

A produção de vidro reciclado economiza 75% de energia em relação à produção de vidro não reciclado, enquanto a produção de metal reciclado economiza 85%.

A reciclagem colabora para evitar a poluição do solo e da água, diminui o volume do lixo que vai para os aterros sanitários e gera postos de trabalho nas usinas de reciclagem, na coleta de materiais, etc.

Até o ano de 2014, 927 municípios brasileiros tinham algum programa de coleta seletiva. Nessas cidades, as pessoas devem separar os diversos tipos de material (metais, plásticos, vidros, sobras de alimentos) e colocar cada um em coletores específicos. O material a ser reciclado é recolhido e encaminhado para usinas de reciclagem (figura 20.22).

Casa de Tipos/Arquivo da editora

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Figura 20.22 Símbolos da reciclagem. O número 1 indica que se trata do plástico PET usado em garrafas de refrigerantes. Já o número 3, por exemplo, indicaria policloreto de vinila (PVC), usado em encanamentos, esquadrias, etc. Na foto, lixeiras de coleta seletiva, no Guarujá, SP, em 2008.

Faça a sua parte

Para diminuir os prejuízos ao meio ambiente e, consequentemente, melhorar nossa qualidade de vida, é necessário que se tomem medidas que diminuam o volume de lixo e favoreçam o tratamento adequado dos resíduos. Cabe à sociedade, por exemplo, pressionar o governo a criar e fiscalizar medidas voltadas à proteção do meio ambiente e da saúde da população.

Mas há também algumas coisas que você mesmo pode fazer em seu dia a dia:

- Evite usar sacolas plásticas de estabelecimentos para carregar compras. Sempre que possível, utilize sua própria sacola.
- Sempre que possível, evite produtos descartáveis. Dê preferência a toalhas de pano em vez de toalhas de papel; ao guardar alimentos, utilize recipientes laváveis em vez de papel-filme ou papel-alumínio. Escolha os produtos com menos embalagens, ou pelo menos com embalagens recicláveis.
- Não jogue lixo na rua. Se estiver na praia, recolha seu lixo em sacos e jogue-o em um cesto. O lixo jogado na rua pode ser arrastado para os bueiros. Se ficarem entupidos, os bueiros deixam de escoar a água das chuvas, o que pode causar enchentes.
- Não jogue no lixo roupas, brinquedos antigos, utensílios de casa ou sapatos; em muitos casos, podem ser doados ou restaurados. Há entidades que aceitam muitos tipos de doações.

- Separe vidros, jornais, revistas e embalagens de papel para vender ou dar a "catadores de rua" ou encaminhar para a coleta seletiva, se houver em sua cidade.
- Economize energia e poupe recursos.
- Participe de associações de bairro e de movimentos ecológicos para pressionar o governo em todas as questões ligadas à proteção do meio ambiente.
- Em algumas cidades, há empresas que coletam o óleo vegetal usado na cozinha e o utilizam para produzir sabão. Pode-se armazenar o óleo em garrafas de plástico e entregar em postos de coleta.

Fique de olho!
A diminuição dos prejuízos ao meio ambiente é responsabilidade de todos e deve ser dividida entre a população, os governos e as instituições públicas e privadas.

Biologia e ambiente

Pilhas e baterias

Pilhas e baterias usadas não podem ser descartadas com os resíduos comuns. Tanto pilhas quanto baterias velhas devem ser entregues aos fabricantes, distribuidores, comerciantes, à rede de assistência técnica ou, ainda, em postos de coleta para serem encaminhadas à reciclagem.

Antes do descarte, devem ficar guardadas em potes com tampa, longe das crianças.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela lei n. 12 305, de agosto de 2010, essa medida vale também para pneus, agrotóxicos e óleos lubrificantes, assim como seus resíduos e embalagens, produtos eletroeletrônicos e seus componentes e lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista.

5 Poluição radioativa

Os testes nucleares e os acidentes nas usinas são uma fonte extra de radiação lançada no ambiente. Há também o problema do armazenamento dos resíduos radioativos (lixo atômico).

A radiação em um organismo pode romper as células, quebrar seus cromossomos ou alterar o material químico que forma os genes, originando as mutações. A taxa de mutação é diretamente proporcional à dose de radiação recebida. Algumas mutações podem causar câncer ou, se ocorrerem nas células reprodutoras, provocar mudanças que serão transmitidas às gerações seguintes. Doses muito altas de radiação podem matar em poucos dias.

Embora a maior parte dos produtos radioativos de uma usina seja reciclável, alguns são muito perigosos e precisam ser acondicionados em recipientes resistentes e duráveis, como contêineres de cimento ou aço, que são enterrados a grandes profundidades ou estocados em instalações especialmente construídas.

Os defensores da energia nuclear acreditam que vale a pena correr o risco de eventuais acidentes, especialmente no caso de países onde outras fontes energéticas não são suficientes. Eles argumentam ainda que a usina nuclear tem a vantagem de não poluir o ar, como as que queimam carvão e petróleo.

Outras pessoas pensam que os benefícios da energia atômica não compensam os riscos que ela representa (figura 20.23). Para elas, as usinas nucleares deveriam existir em número limitado e funcionar apenas para pesquisas, não para gerar energia.

Max Hodges/Corbis/Latinstock

Figura 20.23 Após o acidente na usina nuclear em Fukushima, no Japão (em 2011), uma enorme área ao redor foi evacuada e as plantações e criações de animais tiveram que ser abandonadas.

6 Poluição sonora

Os efeitos da poluição sonora dependem da intensidade do som, do tempo de exposição e da sensibilidade da pessoa, e podem variar de zumbidos e perda passageira da audição até a sua redução irreversível. Mas a poluição sonora não afeta apenas esse sentido. Ela também é estressante, pois estimula a produção de adrenalina e de colesterol, favorecendo problemas cardíacos (hipertensão e infarto) e distúrbios emocionais. Quanto mais uma pessoa estiver incomodada com um ruído, maiores serão seus efeitos negativos.

Em geral, somos capazes de captar ondas sonoras entre as frequências de 20 hertz a 20 000 hertz (quanto maior a frequência, mais agudo é o som), embora esse intervalo varie de pessoa para pessoa. Isso significa que apenas ondas nesse intervalo de frequência são percebidas como sons.

Fique de olho!
As notas de um instrumento musical, por exemplo, diferem entre si por sua frequência.

A intensidade do som pode ser medida por meio da unidade decibel (dB). Em tom normal, a voz humana produz um som da ordem de 60 dB. Uma britadeira a um metro de distância produz cerca de 90 dB. Acima de 120 dB, sentimos uma sensação dolorosa, e há risco de lesões permanentes na audição. Mas mesmo intensidades menores podem causar problemas, dependendo do tempo que se fica exposto ao som. Pode haver, por exemplo, uma perda progressiva da audição.

O limite de tolerância a ruídos estabelecido pelo Ministério do Trabalho para ambientes industriais é de 85 dB durante oito horas diárias. Para intensidades maiores, o tempo de exposição tem de ser progressivamente reduzido e é necessário que sejam utilizados protetores auriculares. Há leis que limitam o número de horas que determinados profissionais podem trabalhar por dia em função da intensidade sonora a que ficam expostos.

Possíveis soluções

Vejamos algumas medidas que podem ser adotadas pelos governantes para minimizar o problema da poluição sonora.

- Desviar o trânsito pesado, como o de caminhões, para longe dos centros residenciais e das áreas de lazer.
- Conservar e ampliar as áreas verdes, porque elas funcionam como isolantes sonoros.
- Obrigar o uso de protetores auriculares para aqueles que trabalham em lugares muito barulhentos (figura 20.24). Periodicamente, esses trabalhadores devem consultar um médico para verificar se a saúde não está sendo afetada.

Kzenon/Shutterstock/Glow Images

Figura 20.24 Trabalhador usando protetor auricular.

Além disso, devemos evitar locais muito barulhentos e não ouvir música com o som muito alto. Se, por exemplo, você está usando fones de ouvido e outra pessoa também consegue ouvir o que está tocando, é sinal de que o som está muito alto e pode causar algum dano à sua audição. Veja se há um aviso nas instruções de uso do seu fone quanto ao limite de volume.

7 Destruição da biodiversidade

Uma das maiores preocupações ecológicas atuais é a destruição da biodiversidade, isto é, da variedade de seres vivos existentes em determinado lugar ou no planeta como um todo. Conhecemos um pouco da biodiversidade dos organismos no Volume 2.

Exceto nos períodos de extinção em massa, provocada por grandes mudanças no ambiente – como aconteceu há cerca de 65 milhões de anos, quando os dinossauros e outros organismos desapareceram –, a extinção de espécies é um processo natural e lento. Contudo, alguns cálculos indicam que a taxa atual de extinção é cerca de duzentas vezes mais acelerada que o normal.

Espécies invasoras

A principal causa atual da extinção das espécies é a atividade humana: a destruição de *habitat* para ocupação humana, lavoura, pastagem e extração de madeira e outros produtos; a exploração comercial excessiva (como a caça e a pesca indiscriminadas); a poluição; e a introdução de **espécies invasoras**. As espécies invasoras são aquelas introduzidas para fins econômicos ou transportadas acidentalmente que, por não terem inimigos naturais nas áreas às quais são levadas, proliferam e competem com as espécies nativas por recursos naturais ou atuam como predadores ou parasitas dessas espécies. Esse é o caso do caramujo-gigante-africano (*Achatina fulica*), trazido da África e introduzido no Brasil nos anos 1980. Sua criação e sua comercialização fracassaram e ele foi solto no ambiente, espalhando-se e destruindo plantações (figura 20.25).

Com a extinção de uma espécie, desaparecem também as chances de se conhecer mais a natureza. Além disso, todas as espécies são essenciais ao equilíbrio dos ecossistemas que sustentam a vida na Terra.

Figura 20.25 Caramujo-gigante-africano (pode atingir cerca de 15 cm de comprimento).

Consequências e soluções

Na agricultura e na pecuária, o ser humano sempre selecionou e passou a cultivar apenas as espécies mais disponíveis e rentáveis. Essa uniformidade é perigosa, pois a sensibilidade ao ataque de pragas e as mudanças climáticas passam a ser maiores. Quando as espécies cultivadas são cruzadas com espécies selvagens, suas qualidades genéticas melhoram e elas passam a ser mais resistentes ou mais produtivas.

Além desses aspectos, deve-se considerar o grande potencial de substâncias químicas orgânicas com propriedades medicamentosas ou nutritivas existente nas espécies selvagens e que ainda não foram estudadas pelos cientistas.

Para proteger a biodiversidade, é preciso preservar o ambiente natural das espécies selvagens. Nesse sentido, é fundamental criar e manter unidades de conservação, como parques nacionais e reservas biológicas. Esses locais ficam protegidos do desmatamento e do desenvolvimento de pastos e lavouras.

Há doze tipos de área de preservação previstos na legislação: cinco de preservação integral, que não podem sofrer nenhum tipo de exploração econômica, e sete de uso sustentável, que comportam exploração econômica, desde que de forma planejada e que preserve os recursos naturais. As áreas de preservação federais chegam a cerca de 10% do território brasileiro.

É preciso também combater a **biopirataria**, ou seja, o envio ilegal de plantas e animais ao exterior para extração e pesquisa de medicamentos, cosméticos e outros produtos.

São necessárias leis para que os países desenvolvidos paguem pela exploração da biodiversidade de outros países. Além, é claro, de estimular as pesquisas e o desenvolvimento da indústria de cada país nesse setor.

A Convenção da Biodiversidade, assinada em junho de 1992, durante a Eco-92, no Rio de Janeiro, e a Constituição brasileira estabelecem que cada governo tem o direito de controlar a obtenção e o uso de plantas ou animais existentes em seu território, determinando também a compensação por sua utilização. No entanto, ainda não estão consolidadas leis mais específicas, que assegurem a preservação da espécie explorada e estabeleçam a forma de divisão dos lucros.

Licenciamento ambiental

Todo empreendimento ou atividade que tem potencial de degradar o meio ambiente precisa ser licenciado. O processo de licenciamento ambiental determina a realização de uma série de estudos, o chamado **estudo de impacto ambiental (EIA)**. Esses estudos são utilizados para avaliar a viabilidade da atividade no que diz respeito às questões ambientais antes de sua implantação e seu funcionamento. Além disso, também faz parte do EIA um estudo que permite avaliar os impactos positivos (geração de emprego, por exemplo) e negativos (desmatamento, por exemplo) do empreendimento. No caso dos impactos negativos, já devem ser mencionadas quais medidas serão tomadas para minimizá-los.

No Brasil, as licenças ambientais são emitidas por instituições públicas da esfera federal, estadual ou municipal (órgãos licenciadores) e são uma obrigação prevista em lei desde 1981. Duas características muito marcantes são a participação social na tomada de decisão, por meio de audiências públicas, e a emissão de três licenças de acordo com a fase do empreendimento: **licença prévia** ou **de planejamento**, **licença de instalação** ou **de construção** e **licença de operação** ou **de funcionamento** (figura 20.26).

Em posse do EIA e após a realização da audiência pública, o órgão licenciador decide pela emissão ou não da licença prévia para o projeto. A emissão da licença prévia significa que o projeto foi aprovado, ou seja, o empreendimento é viável do ponto de vista ambiental.

Figura 20.26 Processo de licenciamento ambiental. (Os elementos das ilustrações não estão na mesma escala; cores fantasia.)

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Licença prévia (LP)
O órgão licenciador recebe o estudo de impacto ambiental (EIA), que contém o planejamento do empreendimento, trazendo informações como: a atividade, o local, a capacidade de produção, entre outras.

Licença de instalação (LI)
Se todos os compromissos que o empreendedor assumiu com o órgão licenciador (ações para minimizar os impactos negativos e eventuais ajustes que tenham sido solicitados) forem cumpridos, é emitida a licença de instalação. Essa licença permite a construção do empreendimento.

Licença de operação (LO)
Caso a construção esteja de acordo com as informações apresentadas para a obtenção das licenças prévia e de instalação, a licença de operação é emitida. Essa licença permite que o empreendimento funcione. Ela precisa ser renovada periodicamente e, para tanto, é necessário que se apresentem relatórios de monitoramento das atividades, em que é avaliada, por exemplo, a efetividade das ações tomadas para minimizar os impactos ambientais e se as ações estão de acordo com as informações apresentadas nas fases anteriores.

Fontes de pesquisa: *Manual de licenciamento ambiental:* guia de procedimento passo a passo. Rio de Janeiro: Firjan - GMA, 2004. 23 pp. <www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/cart_sebrae.pdf>; Ministério do Meio Ambiente. *Programa Nacional de Capacitação de gestores ambientais:* licenciamento ambiental. Brasília: MMA, 2009. 90 p. <www.mma.gov.br/estruturas/dai_pnc/_arquivos/pnc_caderno_licenciamento_ambiental_01_76.pdf>. Acessos em: 4 mar. 2016.

Atividades

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Um ecologista afirmou que a morte de peixes em uma lagoa fora causada pelo lançamento de gases poluentes pelas chaminés de uma indústria da região, mas foi contestado pelo dono da indústria, segundo o qual os gases estariam poluindo "apenas" o ar e não poderiam afetar os peixes, que vivem em outro ambiente. Quem você acha que está com a razão? Justifique sua resposta.

2. A expressão "maré negra" é comumente usada para se referir à poluição do mar por petróleo. Quais os efeitos desse tipo de poluição sobre a vida aquática?

3. Um estudante afirmou, equivocadamente, que não há nenhum problema em caçar baleias, mesmo que se provoque a extinção desses animais, porque isso não afetaria o bem-estar da humanidade. Explique por que ele está errado.

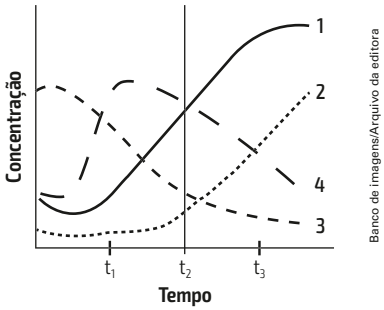
4. (Uema) *Os cientistas avaliaram as mudanças climáticas em todo o mundo. No Brasil, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas produziu o primeiro grande relatório dedicado exclusivamente a nossa realidade. Muitos impactos já são observados e poderão ficar mais intensos nos próximos 50 anos, a exemplo da redução da capacidade hídrica da Amazônia em até 40%, aumento de temperatura em até 6 °C, terras agricultáveis reduzidas e grandes enchentes.*

Fonte: SPITZCOVSKY, Débora. O que diz o primeiro relatório sobre mudanças climáticas no Brasil. Disponível em: <www.viajeaqui.abril.com.br>. Acesso em: 20 nov. 2014.

Conhecendo que o solo interage com a atmosfera, com o clima, com as águas superficiais e subterrâneas,

a) indique um impacto humano sobre o solo.
b) explique como minimizar as consequências do referido impacto.

5. (UFRN) Em algumas cidades brasileiras, uma grande parte da área urbana não está saneada. Como consequência dessa situação, um problema sério é a contaminação de reservatórios naturais de água. Como diversos esgotos das cidades são lançados em locais que entram em contato com a água desses reservatórios, um grave problema de impacto ambiental que acontece é o fenômeno da eutrofização. No gráfico a seguir, está representado o comportamento de quatro componentes que foram medidos em um reservatório natural: peixes, bactérias aeróbias, nutrientes e oxigênio. As variações da concentração desses componentes no tempo foram provocadas pela eutrofização.



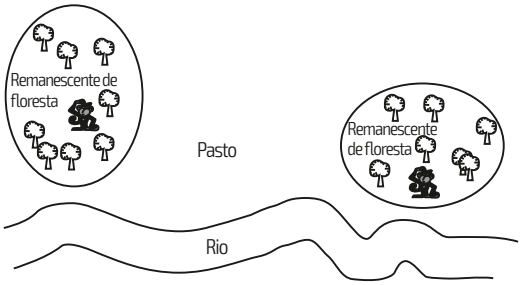
Banco de imagens/Arquivo da editora

Considerando o gráfico,

a) Identifique os componentes 1, 2, 3 e 4.
b) Explique por que, a partir do tempo t_2, a concentração do componente 1 continua aumentando e a do componente 4 continua diminuindo.

6. (UFMG) Em maio de 2012, o Governo Federal enviou ao Congresso uma Medida Provisória com uma série de alterações no Código Florestal Brasileiro. Algumas dessas alterações foram criticadas pela comunidade científica nacional, entre elas a possibilidade de utilização de espécies de plantas exóticas para recuperar Áreas de Preservação Permanente (APP) de margens de rios e a restauração da floresta na faixa de 5 metros a partir da margem de pequenos rios (mata ciliar).

A figura abaixo ilustra uma situação típica de uma propriedade rural na Mata Atlântica, com a APP degradada e alguns remanescentes de floresta isolados, nos quais sobrevive uma espécie de primata ameaçada de extinção.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Considerando a figura e usando seus conhecimentos sobre o tema,

a) Explique a importância da mata ciliar para a qualidade da água e a integridade dos rios.
b) Cite duas razões que apoiam as críticas feitas pela comunidade científica sobre a utilização de plantas exóticas para a recuperação da mata ciliar.
c) Explique como a recuperação da mata ciliar pode contribuir para a diminuição da chance de extinção da espécie de primata ameaçada.

7. (UEL-PR) A prática da queimada, utilizada por agricultores para facilitar o plantio, tem efeitos prejudiciais para o solo. Assinale a alternativa que apresenta corretamente o efeito da alta temperatura no solo durante a queimada.

a) Incorporação do carbono em compostos orgânicos produzidos em altas temperaturas.
b) Perda de nitrogênio causada pela sua incorporação em compostos insolúveis, formados pelas cinzas.
c) Aumento da concentração de íons hidrogênio, levando à acidez e à diminuição do oxigênio.
X d) Eliminação de microrganismos responsáveis pelo processo de degradação da matéria orgânica.
e) Absorção de monóxido de carbono e compostos inorgânicos pelas bactérias nitrificantes, causando baixa fertilidade do solo.

8. (Enem) O potencial brasileiro para transformar lixo em energia permanece subutilizado — apenas pequena parte dos resíduos brasileiros é utilizada para gerar energia. Contudo, bons exemplos são os aterros sanitários, que utilizam a principal fonte de energia ali produzida. Alguns aterros vendem créditos de carbono com base no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto. Essa fonte de energia subutilizada, citada no texto, é o

a) etanol, obtido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias.
b) gás natural, formado pela ação de fungos decompositores da matéria orgânica.
c) óleo de xisto, obtido pela decomposição da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias.
X d) gás metano, obtido pela atividade de bactérias anaeróbias na decomposição da matéria orgânica.
e) gás liquefeito de petróleo, obtido pela decomposição de vegetais presentes nos restos de comida.

9. (Enem) A indústria têxtil utiliza grande quantidade de corantes no processo de tingimento dos tecidos. O escurecimento das águas dos rios causado pelo despejo desses corantes pode desencadear uma série de problemas no ecossistema aquático.
Considerando esse escurecimento das águas, o impacto negativo inicial que ocorre é o (a)

a) eutrofização.
b) proliferação de algas.
X c) inibição da fotossíntese.
d) fotodegradação da matéria orgânica.
e) aumento da quantidade de gases dissolvidos.

10. (Enem) Várias estratégias estão sendo consideradas para a recuperação da diversidade biológica de um ambiente degradado, dentre elas, a criação de vertebrados em cativeiro. Com esse objetivo, a iniciativa mais adequada, dentre as alternativas abaixo, seria criar:

a) machos de uma espécie e fêmeas de outra, para possibilitar o acasalamento entre eles e o surgimento de novas espécies.
b) muitos indivíduos da espécie mais representativa, de forma a manter a identidade e a diversidade do ecossistema.
c) muitos indivíduos de uma única espécie, para garantir uma população geneticamente heterogênea e mais resistente.
X d) um número suficiente de indivíduos do maior número de espécies, que garanta a diversidade genética de cada uma delas.
e) vários indivíduos de poucas espécies, de modo a garantir, para cada espécie, uma população geneticamente homogênea.

11. (Enem) *No Brasil, cerca de 80% da energia elétrica advém de hidrelétricas, cuja construção implica o represamento de rios. A formação de um reservatório para esse fim, por sua vez, pode modificar a ictiofauna local. Um exemplo é o represamento do Rio Paraná, onde se observou o desaparecimento de peixes cascudos quase que simultaneamente ao aumento do número de peixes de espécies exóticas introduzidas, como o mapará e a corvina, as três espécies com nichos ecológicos semelhantes.*

PETESSE, M. L.; PETRERE JR., M. *Ciência Hoje*, São Paulo, n. 293, v. 49, jun. 2012 (adaptado).

Nessa modificação da ictiofauna, o desaparecimento de cascudos é explicado pelo (a)

a) redução do fluxo gênico da espécie nativa.
b) diminuição da competição intraespecífica.
X c) aumento da competição interespecífica.
d) isolamento geográfico dos peixes.
e) extinção de nichos ecológicos.

12. (Enem)
O lixo orgânico de casa – constituído de restos de verduras, frutas, legumes, cascas de ovo, aparas de grama, entre outros –, se for depositado nos lixões, pode contribuir para o aparecimento de animais e de odores indesejáveis.
Entretanto, sua reciclagem gera um excelente adubo orgânico, que pode ser usado no cultivo de hortaliças, frutíferas e plantas ornamentais. A produção do adubo ou composto orgânico se dá por meio da compostagem, um processo simples que requer alguns cuidados especiais. O material que é acumulado diariamente em recipientes próprios deve ser revirado com auxílio de ferramentas adequadas, semanalmente, de forma a homogeneizá-lo. É preciso também umedecê-lo periodicamente. O material de restos de capina pode ser intercalado entre uma camada e outra de lixo da cozinha. Por meio desse método, o adubo orgânico estará pronto em aproximadamente dois a três meses.

Como usar o lixo orgânico em casa? *Ciência Hoje*, v. 42, jun. 2008 (adaptado).

Suponha que uma pessoa, desejosa de fazer seu próprio adubo orgânico, tenha seguido o procedimento descrito no texto, exceto no que se refere ao umedecimento periódico do composto. Nessa situação,

a) o processo de compostagem iria produzir intenso mau cheiro.
b) o adubo formado seria pobre em matéria orgânica que não foi transformada em composto.
X c) a falta de água no composto vai impedir que microrganismos decomponham a matéria orgânica.
d) a falta de água no composto iria elevar a temperatura da mistura, o que resultaria na perda de nutrientes essenciais.
e) apenas microrganismos que independem de oxigênio poderiam agir sobre a matéria orgânica e transformá-la em adubo.

13. (Enem)

Metade do volume de óleo de cozinha consumido anualmente no Brasil, cerca de dois bilhões de litros, é jogada incorretamente em ralos, pias e bueiros. Estima-se que cada litro de óleo descartado polua milhares de litros de água. O óleo no esgoto tende a criar uma barreira que impede a passagem da água, causa entupimentos e, consequentemente, enchentes. Além disso, ao contaminar os mananciais, resulta na mortandade de peixes. A reciclagem do óleo de cozinha, além de necessária, tem mercado na produção de biodiesel. Há uma demanda atual de 1,2 bilhões de litros de biodiesel no Brasil. Se houver planejamento na coleta, transporte e produção, estima-se que se possa pagar até R$ 1,00 por litro de óleo a ser reciclado. Programa mostra caminho para uso do óleo de fritura na produção de biodiesel.

Disponível em: <www.nutrinews.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2013.

De acordo com o texto, o destino inadequado do óleo de cozinha traz diversos problemas. Com o objetivo de contribuir para resolver esses problemas, deve-se:

a) utilizar o óleo para a produção de biocombustíveis, como etanol.
X b) coletar o óleo devidamente e transportá-lo às empresas de produção de biodiesel.
c) limpar periodicamente os esgotos das cidades para evitar entupimentos e enchentes.
d) utilizar o óleo como alimento para os peixes, uma vez que preserva seu valor nutritivo após o descarte.
e) descartar o óleo diretamente em ralos, pias e bueiros, sem tratamento prévio com agentes dispersantes.

Atividade prática

Reciclagem de papel

Para realizar esta atividade, providencie o que se pede e siga as orientações.

Materiais

- Papéis variados que seriam jogados no lixo: revistas, papel de embrulho, folhas de caderno, folhetos, caixas, envelopes, sobras de cartolina, cartões, etc. Não use papel de fax, papel-carbono, papel higiênico, papel plastificado ou papéis sujos ou engordurados.
- Colher de pau
- Liquidificador
- Bacia grande
- Peneira redonda (de arame ou de plástico) que caiba na bacia
- Jornais
- Panos

Procedimentos

- Pique os papéis e jogue-os na bacia com água. Misture com a colher de pau e deixe de molho por 24 horas.
- Peça ao professor que bata uma xícara desse papel umedecido no liquidificador, acrescentando água até 3/4 do volume do copo do liquidificador (a própria água do "molho" pode ser aproveitada). A mistura deve ser batida até ficar bem homogênea.
- Ponha água até a metade da bacia e despeje o papel batido nela. Agite a mistura com a colher de pau.
- Mergulhe a peneira pela borda da bacia até o fundo e retire-a lentamente, recolhendo o papel batido nas malhas e deixando a água escorrer. Uma camada de papel se formará sobre a peneira.
- Ponha a peneira sobre as folhas de jornal para que o excesso de água seja absorvido. Troque as folhas até que elas não fiquem mais molhadas.
- Depois, cubra a peneira com um pano e aperte-o bem sobre a massa de papel para secá-la mais. Repita o procedimento com outros panos até que eles não fiquem mais molhados.
- Vire a peneira sobre as folhas de jornal secas e, depois, bata várias vezes no fundo, até que a massa de papel se solte.
- Ponha a massa (que agora já se tornou uma folha de papel) entre jornais secos e deixe-a secar até o dia seguinte.
- Com o auxílio dos professores de Língua Portuguesa e Arte, use o papel para produzir textos e ilustrações sobre a importância da reciclagem no mundo de hoje.

Trabalho em equipe

Formem grupos e escolham um dos temas a seguir para pesquisar (em livros, na internet, etc.), com o apoio dos professores de Biologia, Química, Geografia e História.

Depois, apresentem o resultado do trabalho para a classe e a comunidade escolar.

a) Como está a qualidade do ar nas grandes cidades do Brasil? Que tipos de poluente são lançados na atmosfera e o que está sendo feito para combater essa poluição? Com auxílio dos professores de Química, indiquem a que funções químicas correspondem esses poluentes. Como está o ar de sua cidade? Se está poluído, quais seriam as causas? Que medidas podem ser tomadas para melhorar essa situação? Pesquisem também quais as exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.

b) Que tipos de poluentes vêm ameaçando os rios e as regiões costeiras do Brasil e o que está sendo feito para minimizar esse problema? Como está a água do rio, lago ou mar que banha sua cidade? Se está poluída, quais são as causas dessa poluição e o que deve ser feito para melhorar essa situação? Pesquisem também os pontos principais da legislação sobre as águas subterrâneas no Brasil (consultem, por exemplo, a Resolução N. 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, entre outras a esse respeito).

c) Quais são as principais causas do desmatamento e da destruição do solo no Brasil? Obtenham dados atuais sobre o desmatamento e as áreas ameaçadas de desertificação. Quais são os projetos e programas que estão sendo desenvolvidos para resolver esses problemas? Que tipos de controle biológico vêm sendo utilizados e desenvolvidos no Brasil? Esses problemas estão afetando alguma área agrícola de sua cidade? O que pode ser feito para minimizar o problema? Pesquisem também em que condições podem ser autorizadas alterações na vegetação em uma "Área de Preservação Permanente (APP)" no Brasil (consultem, por exemplo, a Resolução N. 369 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, entre outras a esse respeito).

d) Obtenham dados atualizados sobre a quantidade e o destino do lixo no Brasil. Que medidas devem ser tomadas para diminuir a quantidade de lixo? Em que cidades há coleta seletiva de lixo? Que medidas estão sendo tomadas para controlar esse problema e diminuir o impacto ambiental do lixo? Há coleta seletiva em sua cidade? Como ela é feita e qual o destino dado ao lixo? Pesquisem também o que a legislação brasileira diz a respeito do destino que se deve dar a pilhas e baterias usadas (consultem, por exemplo, a Resolução N. 401 do Conselho Nacional do Meio Ambiente ou outras mais recentes a esse respeito).

e) Pesquisem qual é a área de atuação, a duração dos cursos relacionados e outras características de profissões em que sejam necessários conhecimentos de Ecologia. Alguns exemplos dessas profissões: engenheiro ambiental, engenheiro-agrônomo (ou agrônomo), engenheiro florestal, engenheiro sanitarista, bacharel em ecologia, tecnólogo em gestão ambiental, tecnólogo em saneamento ambiental, técnico em controle ambiental, técnico em meio ambiente, etc. Se possível, entrevistem profissionais dessas áreas.

Fique de olho!
Uma forma de apresentar os resultados da pesquisa é criar *blogs*, vídeos ou páginas em redes sociais na internet. Assim, é possível trocar ideias com pessoas dentro e fora da escola. Mas nunca se esqueçam de citar a fonte das informações expostas.

Sugestões de aprofundamento

Para acessar:

- **Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente:** <www.recicloteca.org.br>.
- **Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre):** <www.cempre.org.br>.
- **Associação brasileira do alumínio:** <www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/reciclagem-no-brasil>.

Acesso em: 9 maio 2016.

Para assistir:

- **Lixo Extraordinário**. Lucy Walker. Brasil/Reino Unido, 2009. 99 minutos. O documentário acompanha o trabalho do artista plástico Vik Muniz em um dos maiores aterros sanitários do mundo: o Jardim Gramacho, na periferia do Rio de Janeiro.
- **À Margem do Lixo**. Evaldo Mocarzel. Brasil, 2008. 83 minutos. O filme mostra a rotina de vida dos catadores de papel e materiais recicláveis na cidade de São Paulo.

Respostas das questões de múltipla escolha

Capítulo 1

13. a
14. c
15. 01 + 08 = 09
16. c
17. a
18. a
19. b
20. 02 + 08 + 16 = 26
21. a
22. c
23. b

Capítulo 2

10. e
11. d
12. V – F – F – V – F
13. e
14. c
15. e
16. e
17. c
18. d
19. d
20. c
21. 02 + 04 + 08 + 16 = 30
22. b
23. b

Capítulo 3

10. a **13.** a **16.** e
11. a **14.** a **17.** b
12. a **15.** b **18.** b
19. 01 + 02 + 08 + 16 + 64 = 91

Capítulo 4

9. b **11.** e **13.** d
10. c **12.** b **14.** e

Capítulo 5

10. c **12.** c **14.** c **16.** a
11. c **13.** e **15.** e **17.** b

Capítulo 6

8. d **11.** d **14.** e **17.** a
9. d **12.** c **15.** a **18.** e
10. b **13.** c **16.** d

Capítulo 7

9. c **11.** c **13.** d **15.** d
10. b **12.** a **14.** d

Capítulo 8

9. e **11.** d **13.** d
10. b **12.** b **14.** a

Capítulo 9

8. d **12.** a **16.** c
9. c **13.** b **17.** c
10. b **14.** b
11. c **15.** a

Capítulo 10

13. c **15.** a **17.** c
14. d **16.** d

Capítulo 11

8. d
9. d
10. e
11. d
12. b
13. e
14. 01 + 02 + 04 + 08 + 16 = 31
15. a
16. b

Capítulo 12

2. e
3. b
4. c
5. d
6. a
7. b
8. 01 + 04 + 08 = 13
9. c
10. e

Capítulo 13

8. c **10.** d
9. e **11.** e

Capítulo 14

7. d **14.** c **17.** d
12. b **15.** d
13. b **16.** d

Capítulo 15

7. b **10.** c **13.** d **16.** b
8. a **11.** d **14.** b
9. b **12.** b **15.** c

Capítulo 16

9. a **11.** c **13.** c **15.** a
10. d **12.** e **14.** d **16.** d

Capítulo 17

5. a **7.** b **9.** b
6. e **8.** e

Capítulo 18

5. d
6. b
7. b
8. d
9. a
10. b
11. e
12. a, c, d
13. a
14. a
15. e
16. F – V – F – V – V
17. a
18. 04 + 64 = 68
19. a
20. 02 + 04 + 16 = 22

Capítulo 19

4. d
5. e
8. a
9. a
10. a
11. e
12. b
13. d
14. d
15. c
16. 02 + 04 + 08 = 14
17. a
18. b

Capítulo 20

7. d **9.** c **11.** c **13.** b
8. d **10.** d **12.** c

Sugestões de leitura para o aluno

Genética: o trabalho de Mendel

Para ler:

- **Fique por dentro da Genética.** Martin Brookes. 2. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2003.
- **Genética:** o estudo da hereditariedade. Ian Graham. Tradução de Dinah de Abreu de Azevedo. São Paulo: Melhoramentos, 2003.

Para acessar:

- **Genética básica *on-line*:** <www.ufv.br/dbg/gbolhtm/gbol0.htm>
- **Laboratório de Ensino de Ciências e Tecnologia:** <http://darwin.futuro.usp.br>

A genética depois de Mendel

Para ler:

- **Clonagem:** da ovelha Dolly às células-tronco. Lygia da Veiga Pereira. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2005.
- **Decifrando o genoma.** Kevin Davies. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.
- **DNA, e eu com isso?.** Francisco M. Salzano. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- **O DNA.** Marcelo Leite. São Paulo: Publifolha, 2003. (Coleção Folha Explica).
- **Watson & Crick:** a história da descoberta da estrutura do DNA. Ricardo Ferreira. São Paulo: Odysseus, 2003.

Para acessar:

- **Associação Nacional de Biossegurança:** <www.anbio.org.br>
- **Biotecnologia:** <www.biotecnologia.com.br>
- **Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-Tronco:** <http://genoma.ib.usp.br>
- **Comissão Técnica Nacional de Biossegurança:** <www.ctnbio.gov.br>

Evolução

Para ler:

- **Charles Darwin:** a revolução da evolução. Rebecca Stefoff. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.
- **Charles Darwin:** em um futuro não tão distante. Maria Isabel Landim e Cristiano Rangel Moreira (Org.). São Paulo: Instituto Sangari, 2009.
- **Evolução:** a adaptação e a sobrevivência dos seres vivos no planeta. David Burnie. São Paulo: Publifolha, 2008.
- **O polegar do panda:** reflexões sobre História natural. Stephen Jay Gould. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.
- **Os humanos antes da humanidade:** uma perspectiva evolucionista. Robert Foley. 2. ed. São Paulo: Ed. da Unesp, 2006.

Para acessar:

- **Alfred Russel Wallace:** <www.dec.ufcg.edu.br/biografias/AlfredRu.html>
- **A origem da vida e vida extraterreste:** <http://astro.if.ufrgs.br/vida/index.htm>
- **Entendendo a evolução:** <www.ib.usp.br/evosite/evohome.html>
- **Evolucionismo.org:** <http://evolucionismo.org>

Ecologia

Para ler:

- **Ecologia e cidadania.** Elias Fajardo. São Paulo: Senac, 2003.

Para acessar:

- **Departamento de Ecologia da Universidade de São Paulo:** <www.ib.usp.br/ecologia>
- **Pegada ecológica:** <www.pegadaecologica.org.br/2015/index.php>
- **Sociedade de Ecologia do Brasil:** <www.seb-ecologia.org.br/xiiceb/index.php>

Biosfera e poluição

Para ler:

- **O aquecimento global.** Claudio Angelo. São Paulo: Publifolha, 2008. (Coleção Folha Explica).
- **O atlas da mudança climática:** o mapeamento completo do maior desafio do planeta. Kirstin Dow e Thomas E. Downing. São Paulo: Publifolha, 2007.
- **O desafio amazônico.** Samuel Murgel Branco. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2004. (Coleção Polêmica).
- **O meio ambiente em debate.** Samuel Murgel Branco. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2002. (Coleção Polêmica).
- **Poluição das águas.** Luiz Roberto Magossi e Paulo Henrique Bonacella. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.
- **Uma verdade inconveniente:** o que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento global. Al Gore. Barueri: Manole, 2006.

Para acessar:

- **Agência Nacional de Águas (ANA):** <www.ana.gov.br>
- **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama):** <www.ibama.gov.br>
- **Ministério do Meio Ambiente:** <www.mma.gov.br>

Todos os *sites* foram acessados em: 14 abr. 2016.

Bibliografia

- ARAGÃO, F. J. L. *Organismos transgênicos:* explicando e discutindo a tecnologia. Barueri: Manole, 2002.
- ART, H. W. (Ed.). *Dicionário de Ecologia e ciências ambientais.* 2. ed. São Paulo: Ed. da Unesp/Melhoramentos, 2001.
- BAIRD, Colin. *Química ambiental.* 4. ed. São Paulo: Bookman, 2011.
- BARTON, N. H. et al. *Evolution.* New York: Cold Spring Harbor, 2007.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. *Ecologia:* de indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- BORGES-OSÓRIO, M. R.; WANYCE, M. R. *Genética humana.* 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental:* o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio:* Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, 2006.
- _____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio:* Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, 1999.
- _____. Ministério da Educação. *PCN Ensino Médio:* orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, 2002.
- CAMDESSUS, Michel. *Água.* São Paulo: Bertrand Brasil, 2006.
- CAMPBELL, N. A. et al. *Biology.* 8. ed. Boston: Addison Wesley/Pearson, 2007.
- CARROLL, S. B. *Infinitas formas de grande beleza:* como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.
- _____. *The Making of the Fittest:* DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution. New York: W. W. Norton, 2007.
- COSTA, Vera Rita da; COSTA, Edson Valério da (Org.). *Biologia:* Ensino Médio. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. v. 6. (Coleção Explorando o Ensino).
- DAJOZ, R. *Princípios de Ecologia.* 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- DASHEFSKY, H. S. *Dicionário de ciência ambiental.* 2. ed. São Paulo: Gaia, 2001.
- EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (Org.). *O que é vida?*: para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000.
- FARAH, S. B. *DNA:* segredos e mistérios. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2007.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The State of Food and Agriculture 2003--2004:* Agricultural Biotechnology – Meeting the Needs of the Poor?. Rome: FAO/WHO, 2004.
- FORTEY, R. *Vida:* uma biografia não autorizada. São Paulo: Record, 2001.
- FREEMAN, S.; HERRON, J. C. *Evolutionary Analysis.* 5. ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 2013.
- FUTUYMA, D. *Evolution.* 3. ed. Sunderland: Sinauer, 2013.
- GOULD, S. J. *A galinha e seus dentes e outras reflexões sobre história natural.* Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.
- _____. *Darwin e os grandes enigmas da vida.* São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- _____. *O sorriso do flamingo:* reflexões sobre história natural. São Paulo: Martins Fontes, 2004.
- _____. *The Book of Life:* an Illustrated History of Life on Earth. New York: W. W. Norton, 1993.
- _____. *Viva o brontossauro.* São Paulo: Companhia das Letras, 1992.
- GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética.* 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- HARTL, D. L. *Princípios de genética de populações.* 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- HILL, M. K. *Understanding Environmental Pollution.* 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- JORDE, L. B. et al. *Genética médica.* 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- KREUZER, H.; MASSEY, A. *Engenharia genética e biotecnologia.* 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- KROGH, D. *Biology:* a Guide to the Natural World. 4. ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 2008.
- MAJERUS, M. E. N. *Melanism:* Evolution in Action. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- MALAJOVICH, M. A. *Biotecnologia.* Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.
- MEYER, D.; EL-HANI, C. N. *Evolução:* o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. da Unesp, 2005.
- MILLER, J. H. et al. *Introdução à Genética.* 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.
- MILLER, K. R.; LEVINE, J. L. *Biology.* 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- MOLLES JR., M. C. *Ecology:* Concepts and Applications. Boston: McGraw-Hill, 2012.
- MOTA, S. *Introdução à engenharia ambiental.* 2. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2005.
- MOTTA, P. A. *Genética humana aplicada à Psicologia e toda a área biomédica.* 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
- NATIONAL ACADEMY PRESS. *Teaching about Evolution and the Nature of Science.* Washington: National Academy Press, 1998.
- PENA, S. D. J. *Humanidade sem raças?.* São Paulo: Publifolha, 2008.
- PIERCE, B. A. *Genética:* um enfoque conceitual. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- PINTO-COELHO, R. M. *Fundamentos em Ecologia.* 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- PROTHERO, D. R. *Evolution:* What the Fossils Say and Why it Matters. New York: Columbia University, 2007.
- PURVES, W. K. et al. *Vida:* a ciência da Biologia. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 3 v.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal.* 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza.* 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.
- RIDLEY, Mark. *Evolução.* 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- RINGO, J. *Genética básica.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
- RUMJANEK, F. D. *Introdução à Biologia molecular.* Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 2001.
- SHUBIN, N. *A história de quando éramos peixes:* uma revolucionária teoria sobre a origem do corpo humano. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética.* 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- SOLOMON, E. P.; BERG, L. R.; MARTIN, C.; MARTIN, D. W. *Biology.* 10. ed. Belmont: Brooks Cole, 2014.
- STARR, C.; TAGGART, R. *Biology:* the Unity and Diversity of Life. 13. ed. Belmont: Wadsworth, 2012.
- STEARNS, S. C.; HOEKSTRA, R. F. *Evolução:* uma introdução. São Paulo: Atheneu, 2003.
- TUNDISI, José Galizia. *Água no século XXI:* enfrentando a escassez. 3. ed. São Carlos: Rima, 2009.
- WIENER, J. *O bico do tentilhão:* uma história da evolução no nosso tempo. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.
- WILMUT, I.; CAMPBELL, K.; TUDGE, C. *Dolly, a segunda criação e a era do controle.* Rio de Janeiro: Objetiva, 2000.
- ZIMMER, C. *À beira d'água:* macroevolução e a transformação da vida. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1999.
- _____. *O livro de ouro da evolução:* o triunfo de uma ideia. Rio de Janeiro: Ediouro, 2003.

Manual do Professor

Biologia

VOLUME 3

Sumário

1 O ensino de Biologia nos dias atuais 291
2 Ciências da Natureza 292
3 Objetivos gerais da Coleção 293
4 Uma palavra com o professor: a prática pedagógica 295
5 Avaliação 298
6 Usando o livro-texto: uma orientação geral 300
7 Sugestões de leitura para o professor 307
8 Sugestões de *sites* de museus e outros espaços de Ciências 315
9 Sugestões de abordagem e comentários 316
10 Respostas das atividades 359
Unidade 1 – Genética: o trabalho de Mendel 359
Capítulo 1 – Primeira lei de Mendel 359
Capítulo 2 – Segunda lei de Mendel 361
Unidade 2 – A genética depois de Mendel 362
Capítulo 3 – Grupos sanguíneos e polialelia 362
Capítulo 4 – Interação gênica e pleiotropia 363
Capítulo 5 – Ligação gênica 363
Capítulo 6 – Sexo e herança genética 364
Capítulo 7 – As aplicações da genética molecular 365
Unidade 3 – Evolução 366
Capítulo 8 – Evolução: as primeiras teorias 366
Capítulo 9 – A teoria sintética: variabilidade genética e seleção natural 369
Capítulo 10 – A teoria sintética: genética das populações e formação de novas espécies 370
Capítulo 11 – Evolução: métodos de estudo 370
Capítulo 12 – A evolução humana 372
Unidade 4 – Ecologia 373
Capítulo 13 – O campo de estudo da Ecologia 373
Capítulo 14 – Cadeias e teias alimentares 374
Capítulo 15 – Populações 375
Capítulo 16 – Relações entre os seres vivos 376
Capítulo 17 – Sucessão ecológica 377
Unidade 5 – Biosfera e poluição 377
Capítulo 18 – Ciclos biogeoquímicos 377
Capítulo 19 – Distribuição dos organismos 381
Capítulo 20 – Poluição 382
11 Significado das siglas de vestibular 384

1 O ensino de Biologia nos dias atuais

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei 9.394/96) diz, em seu artigo 22, que o Ensino Médio "tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores".

De acordo com os *Parâmetros Curriculares Nacionais* (PCN), o Ensino Médio tem o objetivo de garantir a todos a oportunidade de consolidar e aprofundar os conhecimentos adquiridos no Ensino Fundamental, de aprimorar o educando como pessoa humana, de possibilitar o prosseguimento de estudos e de garantir a preparação básica para o trabalho e a cidadania.

Ainda de acordo com os PCN, deve haver contextualização do ensino. Isso significa abordar um assunto de forma a identificar a situação ou o contexto no qual ele está inserido. Ou seja, deve-se estabelecer uma relação entre o que o aluno aprende na escola e o que acontece na sociedade, referenciando histórica, política, econômica e socialmente os conteúdos. Com isso, é possível ampliar as possibilidades de uma aprendizagem que terá significado e relevância para os alunos, tanto individualmente como dentro dos grupos aos quais eles pertencem. A aprendizagem contextualizada capacita o estudante a fazer relações entre os temas discutidos na escola e sua vida: seu cotidiano, sua saúde, sua relação com a sociedade e com o ambiente, sua interação com as tecnologias, etc.

A contextualização dos conceitos é também um importante recurso para trazer à tona outras áreas do conhecimento relacionadas a um tema ou assunto. É, portanto, um dos possíveis caminhos para se atingir a *interdisciplinaridade*. Atualmente, temos clareza de que trabalhar com os alunos inter-relacionando o conhecimento das várias disciplinas contribui para que o estudante seja capaz de compreendê-los como uma construção humana que não ocorre de forma isolada, mas é influenciada, influencia e está ligada a todo um conjunto de outros conhecimentos. Assim, o cidadão em formação poderá compreender a integração entre as diversas áreas do conhecimento e da cultura, além de desenvolver múltiplas habilidades cognitivas, o que favorece o seu desenvolvimento global.

O trabalho interdisciplinar, assim como a própria contextualização dos assuntos e temas, pode estimular o aluno a desenvolver e consolidar uma série de competências e habilidades, como compreender as Ciências da Natureza e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social. Dentro dessas competências, muitas habilidades podem ser desenvolvidas por meio do trabalho interdisciplinar. Entre elas, podemos citar a habilidade de confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo e em diferentes culturas. Ou seja, a abordagem interdisciplinar incentiva o pensamento crítico, a criatividade, a curiosidade, a capacidade de abstração, de trabalhar em equipe, de aceitar opiniões divergentes, de se comunicar e de pesquisar.

De acordo com os *Parâmetros Curriculares Nacionais* – Ensino Médio, o desenvolvimento de múltiplas competências está em consonância com a capacitação do ser humano para atuar em três domínios: a vida em sociedade, a atividade produtiva e a experiência subjetiva. Assim, devem ser incorporadas, como diretrizes gerais e orientadoras da proposta curricular, as quatro premissas apontadas pela Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) como eixos estruturais da educação contemporânea. As quatro premissas são[1]:

Aprender a conhecer

Considera-se a importância de uma educação geral, suficientemente ampla, com possibilidade de aprofundamento em determinada área de conhecimento. Prioriza-se o domínio dos próprios instrumentos do conhecimento, considerado como meio e como fim. Meio, enquanto forma de compreender a complexidade do mundo, condição necessária para viver dignamente, para desenvolver possibilidades pessoais e profissionais, para se comunicar. Fim, porque seu fundamento é o prazer de compreender, de conhecer, de descobrir.

O aumento dos saberes que permitem compreender o mundo favorece o desenvolvimento da curiosidade intelectual, estimula o senso crítico e permite compreender o real, mediante a aquisição da autonomia na capacidade de discernir.

[1] Brasil. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN – Ensino Médio*: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002, p. 15-16.

Aprender a conhecer garante o aprender a aprender e constitui o passaporte para a educação permanente, na medida em que fornece as bases para continuar aprendendo ao longo da vida.

Aprender a fazer

O desenvolvimento de habilidades e o estímulo ao surgimento de novas aptidões tornam-se processos essenciais, na medida em que criam as condições necessárias para o enfrentamento das novas situações que se colocam. Privilegiar a aplicação da teoria na prática e enriquecer a vivência da ciência na tecnologia e destas no social passa a ter uma significação especial no desenvolvimento da sociedade contemporânea.

Aprender a viver

Trata-se de aprender a viver juntos, desenvolvendo o conhecimento do outro e a percepção das interdependências, de modo a permitir a realização de projetos comuns ou a gestão inteligente dos conflitos inevitáveis.

Aprender a ser

A educação deve estar comprometida com o desenvolvimento total da pessoa. Aprender a ser supõe a preparação do indivíduo para elaborar pensamentos autônomos e críticos e para formular os seus próprios juízos de valor, de modo a poder decidir por si mesmo, frente às diferentes circunstâncias da vida. Supõe ainda exercitar a liberdade de pensamento, discernimento, sentimento e imaginação, para desenvolver os seus talentos e permanecer, tanto quanto possível, dono do seu próprio destino.

Aprender a viver e aprender a ser decorrem, assim, das duas aprendizagens anteriores – aprender a conhecer e aprender a fazer – e devem constituir ações permanentes que visem à formação do educando como pessoa e como cidadão.

(Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio, p. 15-16).

As *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)* vêm reafirmar a necessidade de organização do ensino a partir da articulação entre os componentes curriculares e as competências e habilidades, constituindo *temas estruturadores* que propiciam a compreensão das principais temáticas da Biologia em situações reais, que possam ser vivenciadas, problematizadas e interpretadas, para além dos domínios de uma única disciplina. Os seis temas estruturadores apresentados pelos *PCN+* para a aprendizagem de Biologia são: a interação entre os seres vivos; a qualidade de vida das populações humanas; a identidade dos seres vivos; a diversidade da vida; a transmissão da vida, ética e manipulação gênica; e a origem e evolução da vida.

2 Ciências da Natureza

A estruturação da produção do conhecimento em diferentes áreas remonta aos séculos XVIII e XIX. Nesse momento, a denominada História Natural é a área que engloba diversas disciplinas relacionadas ao estudo das coisas vivas, abrangendo inclusive setores da Geografia, da Geologia e da Física.

No século XX, além do grande aumento na produção de conhecimento, é possível notar a ampliação das especificidades dentro das diferentes áreas do conhecimento que vão cada vez se setorizando mais. Assim, os cursos que ensinavam conteúdos de História Natural passaram a ser divididos nas disciplinas de Botânica, Zoologia e Biologia. O surgimento das Ciências Biológicas como denominação de uma área do conhecimento e dos cursos que vieram a substituir a chamada História Natural ocorreu no bojo dessas mudanças, influenciada também pelo aumento da democratização do ensino a partir da década 1950.

Toda essa especialização e setorização das áreas de construção dos conhecimentos tiveram, por um lado, influência na própria produção destes, podendo ser alguns dos fatores da grande ampliação que têm ocorrido nesse processo nos últimos séculos. Por outro lado, ocorreram também consequências dessa especialização e setorização sobre o ensino de Ciências e Biologia, levando a uma maior valorização dos conceitos, fatos e especificidades de cada área em detrimento de uma visão mais geral, contextualizada e inter-relacionada dos conteúdos.

No Brasil, desde meados da década de 1960 é possível perceber um movimento preocupado com essas questões. Porém, poucas mudanças foram sentidas de fato, ocorrendo a manutenção de um modelo de ensino setorizado e embasado em conceitos. Já na década de 1980, ganham força os movimentos populares em prol da democratização da sociedade, e diversos países

e a Unesco assumem uma nova intenção a respeito da educação em Ciências sob o *slogan* "ciência para todos", inserido no conceito de educação ao longo da vida. Assim, requer-se uma alfabetização científica, que exceda a compreensão de conceitos científicos, tornando os indivíduos críticos e participativos nas decisões em relação ao mundo natural, incluindo as interações humanas com o ambiente.

Nesse período e na década posterior, ocorre no Brasil a massificação do ensino. Diversos programas de ensino de Ciências e de Biologia são elaborados no país pelos órgãos ligados ao governo. A análise desse material mostrou, contudo, a permanência de um caráter descritivo, descontextualizado e pouco inter-relacionado dos conteúdos. Apenas no final da década de 1990, com a difusão dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), é possível notar uma valorização dos aspectos práticos e do cotidiano do aluno. Esses aparecem de forma ainda mais ampliada sob o viés dos *Temas transversais*, que procuram promover ainda outros aspectos relacionados aos valores, atitudes e discussão de questões sociais, no sentido do pleno exercício da cidadania.

Esses documentos incluíram os tópicos de Biologia em um conjunto mais amplo denominado Área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, na qual estão inseridas também as disciplinas de Física, Química e Matemática. Com isso, procura-se estimular um processo de ensino-aprendizagem mais amplo, que para além dos conteúdos específicos de cada disciplina, possibilite conexões e inter-relações entre eles. A própria história da segmentação e especialização que levou ao surgimento dessas disciplinas nos permite denotar várias relações existentes entre elas, sugerindo daí uma série de elementos possíveis para se trabalhar com os alunos, via a contextualização dos temas.

Para além dessas conexões, a criação da área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias procurou também esclarecer as diversas competências, habilidades e procedimentos que são comuns às disciplinas dessa área, como a própria forma de produzir conhecimento científico por meio da criação de hipóteses, experimentação, possibilidade de repetição de experimentos, etc.; ou ainda procedimentos mais objetivos e que são amplamente utilizados nessas disciplinas, como a construção de gráficos. Desta forma, podemos identificar outros vários aspectos para que se efetive um trabalho interdisciplinar.

Por meio da contextualização e do trabalho interdisciplinar, procura-se efetivar um aprendizado que seja importante ao longo da vida do indivíduo, que o possibilite vivenciar o mundo do trabalho e a sociedade de maneira crítica, mas sendo capaz de conviver de maneira respeitosa com diversas pessoas, sem discriminação por conta de diferenças de gênero, idade, orientação sexual, etnia, etc. Essa formação e esse aprendizado também devem colaborar para que o estudante possa participar ativamente de decisões que envolvem a sociedade, exercendo de fato sua cidadania.

3 Objetivos gerais da Coleção

Procuramos, sempre que possível, relacionar os conceitos e as explicações científicas a fenômenos do cotidiano do estudante e a temas atuais nas áreas de tecnologia, saúde e ambiente. O objetivo dessa abordagem, em um primeiro momento, é promover uma conexão entre os conceitos que os alunos trazem para a escola (conceitos prévios) e os conceitos científicos importantes para a compreensão do mundo.

Essa abordagem também permite a compreensão de como o conhecimento científico e a tecnologia utilizam os recursos naturais. Esse uso traz imensos benefícios à humanidade, mas também causa impactos negativos – poluição, destruição dos ambientes naturais e perda de biodiversidade, entre outros. Por isso, consideramos fundamental estimular o estudante a refletir sobre as consequências da tecnologia para o equilíbrio da natureza.

Ao discutirmos a natureza, seguimos um enfoque evolutivo e ecológico, com ênfase nas características adaptativas dos organismos e nas relações entre eles, enfatizando a interdependência entre os seres vivos, inclusive o ser humano, e o ambiente.

Procuramos ao longo de todo o texto, das aberturas de capítulos e das atividades, estimular o questionamento, o debate e a busca de evidências, despertando assim o espírito crítico do estudante. Ao final de cada Unidade, os alunos são convidados a aprofundar mais seus conhecimentos por meio de dicas de livros, de *sites* e de filmes relacionados ao tema em questão.

Ao longo do texto e em boxes, a Coleção procura estabelecer um diálogo com outras disciplinas (Física, Química, Sociologia, Matemática, História e Filosofia da Ciência, etc.), contextualizando a Biologia e relacionando-a com as demais áreas do conhecimento.

O objetivo é ajudar o estudante a perceber, conhecer e compreender conexões existentes entre as diversas áreas do conhecimento. Com isso, o aluno pode, por exemplo, compreender a partir da contextualização de um determinado conteúdo que temas de outras disciplinas também foram produzidos em um mesmo momento histórico e por isso passaram por determinado processo de construção, de valorização e mesmo de substituição de conceitos e ideias. As conexões com outras disciplinas também podem ser feitas por meio do trabalho com competências, habilidades e procedimentos comuns, levando o aluno a identificá-las e se apropriar delas aplicando-as no aprendizado de diversos conteúdos. Esses elementos que buscam a interdisciplinaridade presentes no livro seguem a proposta de um aprendizado mais amplo e contextualizado que propicia ao aluno uma significação real dos conteúdos para sua atuação cidadã na sociedade e no trabalho.

Assim, com esta Coleção pretendemos proporcionar ao estudante uma aprendizagem que o ajude a:

- compreender os conceitos científicos básicos e relacionar o que aprende na escola com o cotidiano, a própria saúde, o ambiente, a sociedade e suas tecnologias;
- exercer a cidadania, combatendo a violência e a intolerância e buscando a igualdade de direitos entre as pessoas;
- adquirir competências que permitam seu progresso no trabalho e em estudos posteriores;
- compreender que a Biologia, assim como as demais ciências, é um conjunto de conhecimentos que se modifica ao longo do tempo e que não está definitivamente estabelecido;
- desenvolver o pensamento lógico e o espírito crítico, utilizados para identificar e resolver problemas, formulando perguntas e hipóteses, aplicando os conceitos científicos a situações variadas, testando, discutindo e redigindo explicações para os fenômenos, e comunicando suas conclusões aos colegas para que elas sejam debatidas;
- identificar as relações e a interdependência entre todos os seres vivos, inclusive da espécie humana, e os demais elementos do ambiente, avaliando como o equilíbrio dessas relações é importante para a manutenção da vida em nosso planeta;
- aplicar os conhecimentos adquiridos de forma responsável, de modo a contribuir para a melhoria das condições ambientais, da saúde e das condições gerais de vida de toda a sociedade;
- conhecer melhor o próprio corpo, valorizando hábitos e atitudes que contribuam para a saúde individual e coletiva;
- reconhecer, por meio da elaboração e teste de hipóteses, conexões entre as formas de produção do conhecimento científico em diferentes áreas e a possibilidade de repetição de experimentos;
- identificar habilidades, procedimentos e competências comuns à Biologia e às outras áreas do conhecimento;
- compreender a influência de determinado contexto histórico, político, econômico e social na produção de conteúdos de diferentes disciplinas;
- compreender a importância da divulgação científica para a própria produção do conhecimento nas diversas áreas, como também para a legitimação desses conhecimentos na sociedade.

Para que esses objetivos sejam atingidos, os livros da Coleção utilizam diferentes estratégias, que vão desde a seleção e a organização do conteúdo em textos e boxes até o uso de fotos, a diagramação e a composição de ilustrações, esquemas e modelos que facilitam a leitura e incentivam a participação ativa do aluno em seu próprio aprendizado.

Os boxes de contextualização e as seções de atividades foram especialmente pensados para estimular a participação do aluno como sujeito do próprio aprendizado. Entre as atividades, o **Trabalho em equipe** se destaca pela proposta de pequenos projetos em grupo que são, muitas vezes, interdisciplinares e convidam os alunos a pesquisar sobre temas e conceitos que vão além da Biologia. As propostas de apresentação dos resultados das pesquisas também ultrapassam os limites do formato científico, abrangendo várias outras formas de expressão. Sempre que for possível usar computadores, aparelhos de telefone celular e a internet, os alunos devem ser estimulados a produzir e divulgar o resultado de suas pesquisas fazendo uso dessas tecnologias. Além de já fazer parte da cultura de grande parte dos jovens, a internet pode propiciar a comunicação além da sala de aula e da comunidade escolar e contribuir para uma postura investigativa do aluno.

As **Atividades práticas** aproximam os alunos da realidade da ciência por meio da experimentação. Essas atividades estimulam diversos tipos de habilidades e

devem ser realizadas sempre que o professor julgar interessante e pertinente com a dinâmica de sua aula. Os boxes **Fique de olho!** são usados para chamar a atenção do aluno em diversas situações. Por vezes, esses boxes enfatizam algumas relações estabelecidas pelo texto, mas que não estão evidentes para o aluno; fornecem informações adicionais sobre o tema em questão; ou alertam o aluno, esclarecendo possíveis formas imprecisas de interpretação de alguns conceitos. A inserção dos boxes, de maneira geral, cria um dinamismo que facilita a interação do estudante com os temas abordados pelos capítulos.

Outras estratégias importantes para atingir os objetivos propostos estão presentes na seção *Sugestões de abordagem e comentários* deste Manual. Nela indicamos textos, questões e atividades – do próprio livro-texto ou de outras fontes – para serem trabalhados com os alunos. Destacamos também as possíveis conexões entre os temas tratados nos capítulos e temas de outros capítulos do mesmo Volume e dos outros Volumes da Coleção.

Na mesma seção, apresentamos textos teóricos e *sites* que podem ajudar o próprio professor a aprofundar seus conhecimentos tanto na área pedagógica como em questões conceituais abordadas na Coleção.

4 Uma palavra com o professor: a prática pedagógica

Não há uma estratégia única de ensino. Isso também se aplica à Biologia e às demais Ciências da Natureza. As estratégias mais adequadas variam e dependem do contexto em que se dá o processo de ensino-aprendizagem. Ainda assim, é possível adotar algumas ideias gerais que hoje parecem consolidadas.

É preciso, por exemplo, estimular a participação ativa do estudante no processo de aprendizagem, procurando torná-lo agente da sua construção de conhecimentos. Assim, é importante sempre possibilitar a interação e estabelecer diálogos com o estudante, de forma a estimular sua curiosidade e enfatizando a capacidade de resolver problemas utilizando os conhecimentos adquiridos. É fundamental também promover uma conexão entre os conceitos científicos e o ambiente, a sociedade plural, o mundo do trabalho, as tecnologias, o cotidiano do estudante e sua saúde.

Um importante aspecto para a melhoria da prática docente é a capacidade de refletir sobre ela, avaliando as várias formas de estabelecer as relações com os alunos no processo de ensino-aprendizagem. Estudos que vêm sendo feitos há muito tempo na área da Educação têm se debruçado a analisar criticamente a atuação do professor nesse processo, constatando que a transmissão passiva de conhecimentos está muitas vezes relacionada à ideia de que a informação será levada de um ponto a outro. Desta forma, o "receptor" é muitas vezes considerado um sujeito vazio e que vai receber conhecimentos de alguém que é detentor da informação e que ocupa uma posição muito distante desse sujeito.

Atualmente sabemos que existem outras formas de ensino, em um processo de mediação que supera a simples transmissão de informação, negociando significados a partir daquilo que os alunos já conhecem, estabelecendo relações com a realidade deles e de forma contextualizada. Com isso, é possível fazer com que "a aprendizagem tenha significado, de forma que o aluno seja capaz de relacionar o que é apresentado na escola com a sua vida, a sua realidade e o seu cotidiano"[2].

Na prática, isso pode ser alcançado quando o professor se aproxima de seus alunos e passa a conhecer suas realidades e necessidades. Então, é possível propor atividades que funcionem como um desafio ao estudante, que o levem a aplicar o conhecimento adquirido a situações novas e que promovam a contextualização dos conteúdos. No que concerne especificamente à área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, é preciso ir além da mera transmissão de fórmulas ou nomes para serem decorados. Como dizia o físico Richard Feynman (*Surely you're joking, Mr. Feynman!*, Londres: Allen and Unwin, 1985), "os estudantes decoram tudo, mas não sabem o significado de nada". É preciso estabelecer uma conexão entre os abstratos conceitos científicos e as experiências do cotidiano – incluídas aquelas recebidas, por exemplo, por meio das notícias sobre ciência e tecnologia.

[2] Brasil. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica (SEB). *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006, p. 22.

Da mesma forma, é preciso atentar para as habilidades e procedimentos específicos da área e da disciplina, que também fazem parte do processo de construção do conhecimento de cada indivíduo. As habilidades e procedimentos aprendidos e desenvolvidos no aprendizado da Biologia têm papel fundamental para a compreensão de conceitos e permitem a conexão com outros assuntos e disciplinas, e com a realidade do estudante. Além disso, é preciso que, sabendo que os conhecimentos científicos estão em constante transformação, o aluno aprenda a pesquisar as informações pertinentes, analisando-as criticamente.

Como na maioria das profissões, o trabalho do professor também depende de uma diversidade de saberes advinda de diferentes áreas. Dessa forma, em sua prática, o professor precisará dos saberes da disciplina que ministra, dos saberes pedagógicos, dos saberes de sua formação profissional e dos saberes de sua experiência prévia. Espera-se, portanto, que na formação do professor de Biologia estejam contemplados não apenas os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais de sua disciplina, mas também o conhecimento das principais estratégias metodológicas que poderão facilitar o processo de ensino-aprendizagem, cabendo ao professor escolher a metodologia mais apropriada para cada etapa ou situação específica desse processo.

O professor deve ainda compreender e trabalhar as interações entre a Biologia e a sociedade, assumindo uma postura ética, com o compromisso de participar da formação do aluno como cidadão. É preciso também que esteja sempre disposto a: acompanhar transformações da sociedade; aprender coisas novas; selecionar e adequar os conteúdos à especificidade do processo de ensino-aprendizagem; conhecer e dominar as novas tecnologias em Educação; e, finalmente, respeitar o saber de seus alunos, preparando-os para a apropriação do conhecimento científico.

O construtivismo

Um termo ainda muito em voga no ensino é *construtivismo*. Por isso, apresentamos a seguir um resumo de alguns conceitos básicos dessa abordagem pedagógica.

O construtivismo engloba uma série de pontos de vista acerca do conhecimento, da ciência e da aprendizagem, com implicações para a Filosofia, a Sociologia, a Psicologia e para a teoria e a prática pedagógicas.

Sua ideia central é que todo o conhecimento é construído ativamente, com o auxílio de modelos mentais que interpretam e organizam as experiências. A própria ciência seria uma construção ativa da mente humana, condicionada histórica e culturalmente. A partir daí surgem diferentes abordagens construtivistas, que variam de acordo com o enfoque psicológico ou social e também com a área de atuação das pesquisas (Epistemologia, Psicologia, teoria e prática pedagógicas, etc.).

Em relação à teoria e à prática pedagógicas, a abordagem construtivista enfatiza a participação do educando nesse processo e a importância de conceitos prévios na construção de novos conhecimentos. Isso significa que as ideias e as crenças que o educando traz para a escola terão forte influência na interpretação do que é ensinado, isto é, na construção de significados.

A teoria construtivista mais tradicional, originada pelo psicólogo e epistemólogo suíço Jean Piaget (1896-1980), propõe que a aprendizagem é um processo individual, psicológico, construído a partir da interação pessoal com o mundo. A teoria piagetiana pressupõe um sujeito ativo nesse processo de aprendizagem, que se dá em etapas ou estágios do desenvolvimento humano, comuns a todos os indivíduos. Em cada um desses estágios, o sujeito é capaz de construir uma série de significados de acordo com as possibilidades cognitivas ("maturação" biológica).

A teoria construtivista do russo Lev Vygotsky (1896-1934) e seus seguidores, conhecida por socioconstrutivismo, também considera o indivíduo como agente ativo no processo de construção de significados. No entanto, o socioconstrutivismo enfatiza a importância das interações sociais e condições de vida em sua comunidade como os elementos desencadeadores para a construção cognitiva do indivíduo. De acordo com a teoria de Vygotsky, os adultos servem de modelo para as crianças e têm um papel fundamental como mediadores nesse processo de construção. Pensando nisso, todos os funcionários da escola exercem alguma influência na formação dos alunos. As relações entre os funcionários da escola também são modelos para que os alunos construam suas próprias relações. Dessa forma, é imprescindível que o professor reflita sobre o seu papel como educador e sobre suas relações com os demais funcionários do ambiente escolar.

Outro pensador importante para o construtivismo foi o psicólogo estadunidense David Paul Ausubel (1918-2008). Ele defendia a ideia de que a aprendizagem

deve ser significativa – em oposição a uma mera aprendizagem mecânica ou repetitiva, em que o aluno apenas decora conceitos para a prova e logo os esquece. Para que a aprendizagem seja significativa, um novo conteúdo deve ter relação com o conhecimento prévio do aluno, passando assim a ter um significado para ele.

Outro ponto importante da abordagem construtivista é que os significados construídos podem ser diferentes dos pretendidos pelo professor. Isso acontece porque essa construção é um processo ativo por parte do educando, sendo influenciada por seus conhecimentos prévios. Nesse caso, o professor pode direcionar o processo de aprendizagem, selecionando as experiências apropriadas e encorajando o educando a construir seus significados, em vez de simplesmente apresentar ideias prontas. Após ter construído significados, o educando terá condições de avaliá-los, podendo aceitá-los ou rejeitá-los. Ele pode, por exemplo, construir o significado de um conceito ou de uma lei científica, mas deixar de aceitá-los como uma explicação adequada para os fenômenos.

Em resumo, a abordagem construtivista parte do conhecimento prévio dos alunos e procura ampliar esse conhecimento inicial desenvolvendo competências e habilidades por meio da contextualização e da interdisciplinaridade.

Vamos discutir a seguir uma abordagem construtivista que tem particular importância no ensino de conceitos científicos: a teoria da aprendizagem por mudança conceitual.

A aprendizagem por mudança conceitual

Um dos aspectos mais relevantes no ensino de Ciências da Natureza ocorre com certos conceitos e teorias científicas que são muito diferentes dos conceitos prévios do educando. Para serem incorporados, esses conceitos dependem de extensa reorganização dos conhecimentos prévios. É o que ocorre, por exemplo, com o conceito físico de força como causa de aceleração e não de velocidade, com a diferença entre calor e temperatura, com a ideia de adaptação por seleção natural em comparação com a adaptação lamarckista e com o conceito de mutações aleatórias. Nesses casos, a mudança necessária para que haja aprendizagem é chamada acomodação ou troca conceitual, e os conceitos prévios são chamados de concepções alternativas.

Desenvolvida por vários pesquisadores (Posner, Hewson, Strike, Nussbaum, West, Vosniadou, etc.), a teoria da aprendizagem por mudança conceitual pretende facilitar a acomodação por meio de certos procedimentos, que devem ser adaptados sempre ao contexto específico de cada sala de aula. Veja alguns a seguir:

- Descobrir a concepção prévia do aluno e apresentar problemas (a partir de comentários, experimentos, observações, leituras de texto, perguntas presentes no livro-texto, etc.) significativos (do cotidiano ou do conhecimento científico já assimilado). A problematização deve provocar a curiosidade e alguma insatisfação com a concepção prévia (mostrando que ela não é capaz de resolver o problema ou de explicar adequadamente o fenômeno apresentado pelo professor).
- Apresentar a nova concepção de modo inteligível, por meio de comparações e analogias que facilitem sua aprendizagem.
- Salientar que ícones (por exemplo, as imagens, gráficos e mapas presentes no livro-texto) constituem artefatos cognitivos que propiciam e facilitam a descoberta e a aprendizagem do conhecimento científico, consistindo também em uma "leitura".
- Mostrar que a nova concepção explica fenômenos não explicados pela concepção prévia, mostra relações entre fenômenos que não pareciam estar relacionados ou, ainda, tem a capacidade de explicar novos fenômenos e fazer novas predições.

Portanto, de acordo com essa teoria, para que ocorra a mudança conceitual, deve-se provocar uma insatisfação do aluno com a concepção prévia, mostrar que a concepção científica é inteligível, plausível (coerente com outros conhecimentos adquiridos e capaz de resolver os problemas apresentados) e fértil (de modo que ele a considere útil para explicar novos fenômenos e resolver novos problemas). Isso significa que devemos fazer com que o *status* da concepção alternativa diminua e o da concepção científica aumente.

É preciso considerar, porém, que a substituição dos conceitos prévios do aluno pelos conceitos científicos não ocorre necessariamente de forma abrupta: ela pode se dar de forma gradual, por um longo intervalo de tempo. Além disso, podem ocorrer algumas idas e vindas nesse processo, o que quer dizer que talvez seja preciso que a substituição seja realizada mais de uma vez. Devemos ter em mente também que os procedi-

mentos anteriormente apresentados mostram-se adequados apenas quando há necessidade de uma reorganização profunda das ideias prévias dos estudantes.

É preciso estar muito atento ainda para que, durante o processo de mudança conceitual, os alunos tenham clareza de que as próprias ideias e conceitos científicos não estão totalmente acabados ou livres de críticas e substituições. O conhecimento científico é uma construção humana que ocorre dentro de um contexto histórico, político, econômico e cultural. Desta forma, é possível realizar um trabalho mais amplo que vá além das mudanças ou substituições conceituais, discutindo também características e visões que são atribuídas à ciência, como a neutralidade, imparcialidade, a ideia da ciência como verdade absoluta e inquestionável.

Assim como outras abordagens construtivistas, a teoria da aprendizagem por mudança conceitual também sofreu críticas e foi repensada com mudanças ou complementações. Apresentamos a seguir alguns dos pontos importantes que podem embasar uma adaptação individual do processo pelo professor, de acordo com sua linha metodológica, as características do grupo de alunos ou ainda do próprio conceito a ser trabalhado.

Uma das críticas à teoria da aprendizagem por mudança conceitual diz respeito à sequência apresentada. Para alguns, é melhor apresentar primeiro a teoria científica, independentemente das concepções prévias do estudante, e somente depois compará-la com a concepção inicial do aluno.

Já uma proposta que pode vir a complementar a teoria é embasada na constatação de que a aprendizagem não é influenciada apenas por fatores cognitivos, mas também por componentes afetivos e socioculturais que precisam ser considerados. Por isso, é necessário estimular atividades em equipe e debates entre os estudantes e entre eles e os professores. Essas atividades podem trazer à tona outras questões que permeiam o processo, por exemplo, as visões de ciência que fazem parte das concepções dos estudantes.

Por fim, alguns educadores consideram que os conceitos prévios dos alunos não devem necessariamente ser abandonados ou substituídos pelos conceitos científicos. Ambos podem conviver, de modo que cada um seja utilizado em um contexto específico. Explicações científicas e cotidianas poderiam, assim, coexistir no aluno, sendo utilizadas, porém, em contextos diferentes. Nesse caso, o professor deve ajudar o aluno a compreender o conhecimento científico e a identificar qual a concepção apropriada em cada contexto.

Independentemente dessas divergências, é muito importante que os alunos sejam sempre estimulados a expressar suas concepções em um clima de respeito por suas ideias – mesmo quando elas não coincidam com as de seus colegas ou com as concepções científicas.

5 Avaliação

De acordo com uma visão tradicional, a avaliação está focada no controle externo do aluno mediante notas ou conceitos. Nessa perspectiva, ela tem como pressuposto a punição ou a premiação e serve para selecionar, definir o destino, classificar, julgar os sucessos ou fracassos do aluno ao final da exposição de um determinado conjunto de conteúdos. Ela é, portanto, denominada avaliação somativa ou classificatória.

Muitas vezes o professor destaca entre os seus objetivos de ensino o desenvolvimento da capacidade de pensar lógica, criativa e criticamente. No entanto, encontra-se preso a formas de avaliar, geralmente por meio de provas escritas, com questões que visam apenas verificar se o aluno é capaz de memorizar informações e fórmulas. De acordo com Miriam Krasilchik[3]:

O aluno, a partir desse dado, acertadamente conclui que o professor pretende mesmo é informar e não desenvolver raciocínio ou capacidade de análise crítica. Passa então a comportar-se em função do que o professor faz e não do que ele diz. O professor, por sua vez, age desavisada ou conscientemente da mensagem que transmite com o seu processo de avaliação, por não ter experiência na preparação de provas e instrumentos que possam analisar outros aspectos do desenvolvimento cognitivo e afetivo além da memorização de informações.

As propostas curriculares mais contemporâneas, assim como a Lei de Diretrizes e Bases, atribuem grande importância à avaliação. No entanto, esta passa a ser entendida como parte integrante e intrínseca ao processo educacional, devendo ser contínua, formativa e personalizada, e não simplesmente somativa ou classificatória.

[3] Krasilchik, M. *Prática de ensino de Biologia*. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2008, p. 138.

Por ser *contínua*, a avaliação preconiza o acompanhamento do desempenho do aluno durante todo o ano escolar, e não de forma pontual na rotina artificial das situações de prova ou trabalho. O professor deve, sempre que possível, avaliar os alunos em situações cotidianas de aprendizagem, considerando tudo o que é realizado em sala de aula, ou mesmo em atividades extraclasse.

A avaliação *formativa* não visa classificar, selecionar, castigar ou premiar. Seus alicerces são os aspectos cognitivos, afetivos e relacionais do processo de aprendizagem. Ela pressupõe, portanto, uma avaliação *personalizada*, que reconhece as peculiaridades de cada aluno para aprender, e demanda que o professor ofereça uma diversidade de instrumentos e situações de avaliação. Essa diversidade permite avaliar as diferentes capacidades e conteúdos. A observação do aluno em atividades como as discussões em sala de aula, por exemplo, ou em trabalhos em grupo é muito eficiente para avaliar a dimensão atitudinal dos conteúdos. E isso dificilmente pode ser avaliado por meio de provas ou trabalhos escritos.

Diversos instrumentos de avaliação podem permitir que se contrastem os diferentes resultados obtidos nos mais variados contextos. Assim, com formas diversas de avaliação, é possível observar de forma mais justa e eficiente alunos que conseguem melhor desempenho em atividades como debates, apresentações orais e desenhos, mas têm dificuldade nas provas escritas. Por fim, destacamos que ao diversificar os instrumentos de avaliação, além de uma avaliação individualizada, o professor poderá construir junto ao aluno procedimentos que o permitam acompanhar seu próprio crescimento.

De acordo com os *Parâmetros Curriculares Nacionais*, nesse processo, é fundamental a utilização de diferentes códigos – como o verbal, o oral, o escrito, o gráfico, o numérico, o pictórico –, de forma a se considerar as diferentes aptidões dos alunos. O aluno, muitas vezes, pode não dominar a escrita suficientemente para expor um raciocínio mais complexo sobre como compreende um fato histórico, mas pode fazê-lo perfeitamente bem em uma situação de intercâmbio oral, como em diálogos, entrevistas ou debates.

Uma avaliação contínua, formativa e personalizada deve ter como finalidade:

- conhecer melhor o aluno – o que corresponde a uma avaliação inicial ou diagnóstica que visa resgatar o conhecimento prévio do aluno, investigar quais são os seus ritmos e estilos de aprendizagem, por exemplo, saber se ele aprende mais por um canal visual, auditivo ou cinestésico (corporal);
- aferir o que está sendo aprendido – o professor continuamente registra informações, empregando diversos procedimentos metodológicos, julgando o grau de aprendizagem ora em relação a todo o grupo de estudantes, ora em relação a um aluno em particular;
- adequar o processo de ensino – o que deve ser feito tanto ao grupo de alunos quanto aos alunos que apresentam dificuldades, tendo em vista os objetivos propostos;
- julgar globalmente um processo de ensino-aprendizagem – ao finalizar uma Unidade, o professor deve analisar e refletir sobre o sucesso alcançado em função dos objetivos previstos e revê-los de acordo com os resultados apresentados.

Assim, pode-se dizer que as avaliações devem objetivar tanto a melhoria do aluno quanto do currículo, do professor e da escola. Destacamos a seguir alguns pontos relevantes acerca da avaliação para ajudar o professor na elaboração e planejamento de instrumentos e estratégias.

Devemos sempre lembrar que o ensino envolve valores e atitudes em relação aos problemas atuais. É importante ajudar o estudante a desenvolver uma atitude responsável e ética, de modo que ele possa contribuir para a melhoria das condições gerais da vida (condições sociais, ambientais e de saúde), de toda a sociedade e da defesa dos direitos humanos. Faz parte da formação do aluno, por exemplo, a convivência com as diferenças e o combate às mais variadas formas de discriminação.

Por isso, é importante avaliar não apenas a aprendizagem de conceitos, mas também a de *procedimentos e atitudes*, utilizando, além de tarefas escritas, exposições orais e observando o comportamento do aluno durante as atividades.

É importante ressaltar que, para uma avaliação contínua, formativa e personalizada, é necessário estipular critérios claros e bem definidos na preparação das atividades para que essa não se torne subjetiva demais, tanto para o professor quanto para os alunos. Além disso, é preciso um registro sistemático do desenvolvimento de cada aluno, para que seja possível avaliar o processo de aprendizagem, e não apenas o resultado final.

Nas atividades em grupo, por exemplo, o professor pode avaliar se o grupo utilizou os recursos disponíveis para a pesquisa, se cada aluno coopera com seus colegas, se todos do grupo estão aptos a responder às questões sobre o tema e se os expositores são capazes de apresentar suas ideias e defender seus pontos de vista com argumentos bem embasados, ao mesmo tempo em que ouvem e respeitam as ideias alheias.

No laboratório, é possível avaliar, por exemplo, como o estudante manipula o equipamento, se está zelando pelo patrimônio público; se está atento às regras de segurança e se, após a atividade, preocupa-se em limpar o local de trabalho e colocar em ordem os equipamentos utilizados, entre outros procedimentos e atitudes.

Ademais, ainda que o professor seja responsável pela avaliação, esta não deve ser considerada função exclusiva dele. Em determinados momentos, é preciso delegá-la aos alunos, sendo esta uma condição didática necessária para que construam instrumentos de autorregulação para as diferentes aprendizagens. A *autoavaliação* constitui uma situação de aprendizagem em que o aluno desenvolve estratégias para analisar e interpretar suas produções e os diferentes procedimentos para se avaliar. Esse aprendizado não é importante apenas em si, uma vez que é central para a construção da autonomia dos alunos, mas também cumpre o papel de contribuir com a objetividade desejada na avaliação, pois esta só poderá ser construída com a coordenação dos diferentes pontos de vista, tanto do aluno quanto do professor.

Por fim, vale lembrar que a avaliação também deve permitir que o professor avalie seus objetivos, as atividades propostas, a sua mediação e os próprios instrumentos avaliativos utilizados. Desta forma, a avaliação adquire também um caráter de reflexão sobre a atividade docente e, quando realizada continuamente, permite a adaptação de vários fatores do processo de ensino-aprendizagem, tornando-o mais eficiente.

6 Usando o livro-texto: uma orientação geral

A Coleção está dividida em três Volumes, cada um deles constituído por cinco Unidades. No início de cada Volume, após a página de apresentação, há a seção *Conheça seu livro*, que faz uma breve explicação dos recursos utilizados para organizar os capítulos.

Em seguida, o *Sumário* apresenta as Unidades, os capítulos e os tópicos principais de cada capítulo, evidenciando ainda a localização das atividades. No final de cada Unidade, o aluno encontra recomendações de *sites*, livros e filmes para se aprofundar nos assuntos tratados.

No final do livro estão as *Respostas das questões de múltipla escolha* e mais algumas *Sugestões de leitura para o aluno*. Cada volume é finalizado com a *Bibliografia* utilizada. O conteúdo de cada Unidade está descrito a seguir:

Volume 1

- Na primeira Unidade ("Uma visão geral da Biologia"), apresentamos alguns dos principais fenômenos ligados à vida e os aspectos da atividade de pesquisa científica. Procuramos também estimular o interesse do estudante pela Biologia, mostrando como essa área do conhecimento é importante para a tomada de decisões que afetam sua saúde, seu futuro e sua participação na sociedade.
- A segunda Unidade ("A química da vida") apresenta as principais substâncias que formam todos os organismos e alguns conhecimentos básicos da Química que serão essenciais para a Biologia. Ao compreender características dos compostos presentes nos seres vivos, os alunos percebem a inter-relação entre as características dos seres vivos e a estrutura química da matéria viva.
- A terceira Unidade ("Célula: unidade da vida") traz uma visão atual dos conhecimentos a respeito das células e de alguns fenômenos que ocorrem dentro delas, como a respiração celular. Como alguns desses fenômenos podem ser um tanto abstratos para os alunos, procura-se, sempre que possível, relacionar os conhecimentos de Citologia com o cotidiano das pessoas e com temas atuais nas áreas de tecnologia e saúde.
- A quarta Unidade ("Reprodução, desenvolvimento e tecidos") reúne os capítulos que tratam do elo entre o nível celular e o nível do organismo. São discutidos com detalhes a reprodução e o desenvolvimento humano, apresentando comparativamente também alguns aspectos do desenvolvimento dos animais. Nessa Unidade são apresentados assuntos altamente relevantes para os alunos, como as doenças sexualmente transmissíveis

e os métodos contraceptivos, com destaque para algumas questões éticas e sociais. No estudo dessa Unidade, o aluno também vai conhecer os tecidos do próprio corpo, compreendendo melhor o funcionamento de seu organismo e desenvolvendo uma consciência especialmente importante em relação à própria saúde.

- Na quinta Unidade ("Origem e história da vida"), apresentamos as principais teorias acerca da origem da vida em nosso planeta, levando o aluno a refletir sobre uma escala de tempo diferente daquela com a qual ele está acostumado, o tempo geológico. A apresentação das diferentes teorias e experimentos coloca o aluno em contato com aspectos fundamentais da ciência e estimula a percepção de um conhecimento sempre em construção. Esta última Unidade também apresenta conceitos de classificação e de evolução, preparando o aluno para o estudo dos grandes grupos de seres vivos, que serão estudados no Volume 2.

Volume 2

- Na primeira Unidade ("A diversidade da vida"), apresentamos os objetivos e os critérios da classificação dos seres vivos, discutindo alguns sistemas mais recentes de classificação, como a divisão em domínios (Archaea, Bacteria, Eukarya), e enfatizando a relação entre Sistemática e Evolução.
- Na segunda Unidade ("Vírus e seres de organização mais simples"), estudamos os vírus e os organismos de estrutura mais simples. No caso dos vírus, discutimos que ainda não há consenso sobre eles serem ou não seres vivos. Entre os seres de organização mais simples estão as bactérias, os protozoários, as algas e os fungos. A abordagem desses grupos enfatiza relações ecológicas, como o parasitismo, além de questões ambientais e de saúde.
- A terceira Unidade ("Plantas"), apresenta a classificação das plantas, enfatizando aspectos adaptativos. Quando seus ciclos reprodutivos são apresentados, por exemplo, há o enfoque nas novidades evolutivas que levaram as plantas a dominar o ambiente terrestre. O estudo das plantas também inclui a anatomia e a fisiologia das plantas com flores (angiospermas). A Unidade estimula sempre que possível a consciência sobre a necessidade de preservar a biodiversidade e os aspectos culturais envolvidos nas relações dos seres humanos com as plantas.
- Na quarta Unidade ("Animais"), são estudadas as características anatômicas e fisiológicas dos principais filos animais, procurando estabelecer relações entre forma e função, além de relações de parentesco entre os grupos. Outros aspectos assinalados nessa Unidade são as relações ecológicas entre os organismos e o ambiente e a importância da manutenção da biodiversidade.
- A quinta Unidade ("Anatomia e fisiologia humanas") analisa as funções vitais do organismo humano. É apresentado um estudo da fisiologia humana e de sua relação com a nossa saúde. Nessa Unidade também são discutidas algumas tecnologias que nos permitem detectar e resolver problemas que afetam o organismo humano.

Volume 3

- Na primeira Unidade ("Genética: o trabalho de Mendel"), apresentamos as leis de Mendel e sua importância para a genética. É apresentada a metodologia de estudo usada pelo monge Gregor Mendel e destaca-se como foi importante para a genética o conhecimento de Mendel sobre estatística para que ele conseguisse organizar os resultados que obteve nos cruzamentos de plantas de ervilhas.
- Na segunda Unidade ("A genética depois de Mendel"), apresentamos o desenvolvimento da Genética após os trabalhos de Mendel, procurando dar uma visão atualizada das mudanças que vêm ocorrendo nesse campo, especialmente em relação às tecnologias desenvolvidas na engenharia genética, e suas implicações éticas e sociais.
- Na terceira Unidade ("Evolução"), estudamos a construção de teorias evolucionistas em contrapartida a teorias fixistas, analisando algumas das evidências mais importantes que levam a teoria evolucionista a ser aceita para explicar fenômenos como a biodiversidade.
- Na quarta Unidade ("Ecologia"), estudamos conceitos importantes da Ecologia, que são fundamentais para que se entenda como os organismos e o meio ambiente estão intimamente relacionados e são interdependentes.
- Na quinta e última Unidade ("Biosfera e poluição"), enfatizamos a necessidade de preservar os ecossistemas naturais e a biodiversidade da Terra. Discutimos ainda como a ação humana tem ameaçado o equilíbrio dos ecossistemas ao longo da História, e apresentamos algumas medidas que podem ser usadas de forma coletiva ou individual para mitigar esses impactos.

No início de cada capítulo, há um conjunto de texto e imagem que faz uma conexão entre um tópico do capítulo e a saúde, o cotidiano, o ambiente, a tecnologia, a sociedade ou alguma informação que desperte o interesse do aluno porque faz parte de sua

cultura. Há também duas ou mais perguntas que levantam o conhecimento do aluno sobre as ideias que serão trabalhadas em seguida. O professor pode pedir ao aluno que leia o texto, observe a imagem e tente responder a essas questões no início do estudo, procurando despertar assim o interesse pelo conteúdo do capítulo, ao mesmo tempo que verifica o conhecimento prévio dos estudantes – mas sem cobrar ainda as respostas corretas. As respostas dadas nesse momento podem ser revisitadas após o estudo do capítulo.

Além de usar o texto e a imagem de abertura, o professor pode começar a aula apresentando uma situação-problema, isto é, uma ou mais questões que despertem a curiosidade do aluno e que o motivem a elaborar hipóteses. Essa situação-problema pode ser formulada pelo professor ou pode partir de questões extraídas do final do capítulo, de um experimento, da seção *Sugestões de abordagem e comentários* deste Manual, de uma notícia de jornal ou revista – o que o professor considerar pertinente ao tema que será exposto. É importante lembrar aqui que os *PCN – Ensino Médio* enfatizam que o trabalho do professor é o de mediador, assim, o professor deve apresentar problemas que desafiem os alunos a buscar por soluções[4].

Essa parte inicial permite que o professor entre em contato com a concepção prévia dos estudantes. A partir daí ele poderá trabalhar com os conceitos básicos de Biologia demonstrando como esses conceitos são importantes para a compreensão dos fenômenos – inclusive aqueles ligados ao cotidiano e os veiculados nos meios de comunicação.

Ao longo do capítulo, procuramos relacionar os conceitos científicos a fenômenos do cotidiano, à vida em sociedade, à História e a temas atuais nas áreas de tecnologia, saúde e ambiente. Esses temas aparecem ao longo do texto e também são evidenciados em boxes (*Biologia e cotidiano*, *Biologia e saúde*, *Biologia e ambiente*, *Biologia e sociedade*, etc.). Com isso, pretendemos fazer com que os conceitos, procedimentos e habilidades estudados adquiram significado para o aluno, facilitando, assim, sua aprendizagem.

O boxe *História da ciência* ajuda na percepção de que a Biologia, assim como as demais ciências, é um processo de construção de conhecimento contínuo e que depende de um contexto histórico. Nesses boxes são apresentados alguns processos de investigação e descobertas da Biologia, contribuindo para a compreensão do cotidiano do cientista e do contexto social envolvido na investigação científica.

No fim dos capítulos há algumas seções de atividades que permitem complementar a avaliação sobre o processo de aprendizagem. Mas as questões propostas nessas seções também podem ser utilizadas ao longo da aula, seja para despertar o interesse dos estudantes para o que será estudado, seja para avaliar os conhecimentos prévios.

Os tipos de atividades apresentados ao final de cada capítulo são os seguintes:

- As primeiras atividades envolvem ideias e conceitos básicos do capítulo. Se forem feitas depois da apresentação do conteúdo, possibilitam complementar a avaliação da aprendizagem dos alunos. Além disso, algumas dessas questões permitem que o estudante aplique o conhecimento adquirido em novas situações, diferentes das apresentadas no texto. As respostas dessas atividades aparecem apenas no Manual do Professor.

  Em seguida, são propostas questões dissertativas e de múltipla escolha dos principais vestibulares do país e do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem). Na maior parte dos casos, foram selecionadas questões que vão além da memorização e exigem elaboração de hipóteses, análise de gráficos, experimentos ou tabelas. Assim, o aluno deverá aplicar sempre diferentes habilidades ou procedimentos. As respostas das questões de múltipla escolha são dadas para o professor ao lado de cada questão e para os alunos no fim do livro, contribuindo para o processo de autoavaliação dos estudantes.
- **Trabalho em equipe**: em vários capítulos são sugeridas algumas pesquisas em grupo. São fornecidos temas para os alunos pesquisarem e apresentarem suas conclusões em aula, para outras turmas, para funcionários da escola, ou mesmo para a comunidade. As pesquisas e trabalhos em grupo promovem a interação entre os indivíduos, além de reforçar a interação dos alunos com conhecimentos e habilidades diferentes, estimulando a socialização, a participação, o respeito mútuo e a cooperação.

  Esse tipo de atividade é essencial para a construção de atitudes, valores e competências essenciais para a participação no mundo do trabalho e na sociedade em geral. Nas atividades em grupo o aluno pode

[4] Brasil. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN – Ensino Médio*: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

vivenciar situações em que terá que aplicar diversos recursos cognitivos que serão posteriormente requisitados para exercer suas funções profissionais, mas que também serão fundamentais para poder atuar ativamente na sociedade.

O professor deve sempre orientar os alunos a buscar respostas em fontes de informação variadas. Ao entrar em contato com diferentes fontes de informação, o aluno deve ser capaz de perceber que a construção do conhecimento é um processo complexo e dinâmico.

Como ressaltamos na seção sobre a avaliação, os trabalhos em equipe podem também ser excelentes momentos para avaliar atitudes e valores, realizar autoavaliação e avaliação de seus pares e avaliar procedimentos como a pesquisa escolar, diferentes formas de expressão – oral, pictórica, musical –, a adequação dos produtos à proposta inicial, etc.

Os PCN – Ensino Médio[5] destacam características e conteúdos do trabalho em equipe que vão ao encontro das propostas aqui apresentadas:

Trabalhar em grupo produz flexibilidade no pensamento do aluno, auxiliando-o no desenvolvimento da autoconfiança necessária para se engajar numa dada atividade, na aceitação do outro, na divisão de trabalho e responsabilidades e na comunicação com os colegas. Fazer parte de uma equipe exercita a autodisciplina e o desenvolvimento de autonomia e automonitoramento.

Algumas atividades da seção **Trabalho em equipe** sugeridas têm caráter interdisciplinar: nesse caso, recomendá-se a integração de professores de várias disciplinas para a realização do projeto proposto. A interdisciplinaridade permite ao aluno perceber que a interação de diversas áreas do conhecimento é essencial para o complexo processo de construção do saber. Para que essa mobilização de outros professores e profissionais seja possível, é importante realizar um planejamento em que o grupo de professores possa elaborar os objetivos gerais do trabalho de forma mais ampla e sem "engessar" a proposta, permitindo assim que cada professor estabeleça objetivos específicos que certamente vão enriquecer o processo. O planejamento também é essencial para determinar um cronograma para execução das etapas e do acompanhamento de cada professor envolvido.

[5] Brasil. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN – Ensino Médio*: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002, p. 56.

Há também, entre as propostas do **Trabalho em equipe**, sugestões para que os alunos realizem pesquisas em uma universidade, um museu ou outras instituições educativas que permitam visitas e que sejam localizadas na região. Com isso, é possível trabalhar com outros aspectos além do trabalho em equipe, por exemplo, aproximar os alunos das universidades, permitindo conhecer laboratórios e atividades de pesquisa desenvolvidas por elas, desenvolver o hábito de visita a diferentes instituições como centros culturais e de Ciências, museus, zoológicos, jardins botânicos, etc. Caso a visita a esses espaços não seja possível, os grupos poderão pesquisar em *sites* que possibilitem visitas virtuais. Muitos laboratórios de pesquisa de universidades e museus possuem *sites* com conteúdos acerca de suas atividades, pesquisas, acervo ou mesmo uma visita virtual. Alguns museus oferecem também material educativo sobre vários temas presentes nas exposições para *download*.

Em algumas das propostas de **Trabalho em equipe**, os alunos serão orientados a apresentar o resultado à comunidade (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis), por meio de diferentes formas, tais como palestras com convidados, debates, fóruns, exposições, etc. No caso das palestras, é interessante sempre orientar os alunos a elaborar um roteiro de perguntas para o convidado. Entre essas perguntas, sugere-se que os estudantes explorem o cotidiano do profissional em questão. Isso pode contribuir para a escolha profissional, que terão de fazer em breve nessa etapa da vida.

Essas propostas de trabalho em grupo são oportunidades para aproximar a comunidade e a escola, fortalecendo os vínculos entre os pais ou responsáveis e professores, além disso, pode permitir que os alunos, ao apresentarem sua produção, legitimem ou ampliem a importância do processo individual e coletivo de aquisição de conhecimentos. Uma das formas sugeridas para expandir o alcance da produção dos alunos é a divulgação dos resultados na internet, por meio de redes sociais. Essa forma de expressão já faz parte da cultura juvenil e pode aumentar o interesse dos alunos pela atividade.

- **Atividade prática**: em alguns capítulos são sugeridas práticas em laboratório ou situações que simulam observações ou experimentos científicos. Essas atividades práticas não precisam, necessariamente, ser realizadas ao final do estudo do capítulo. Iniciar

o estudo de um tema com uma atividade prática pode ajudar os alunos a estabelecer vínculos e instigar sua curiosidade sobre o assunto, levando a uma aprendizagem significativa.

Como essas atividades precisam obedecer a normas de segurança, os alunos devem ser orientados para que não as realizem sem a supervisão do professor. Ele deve acompanhar com atenção o trabalho dos alunos e verificar previamente os equipamentos de segurança da escola. As experiências com produtos químicos devem ser feitas em local apropriado e com proteção adequada; todos os frascos com reagentes devem ter etiqueta de identificação e a aparelhagem deve ser lavada antes e após seu uso e guardada em local apropriado. Por fim, é importante ter medicamentos e materiais de primeiros socorros na escola.

As seções de atividades apresentadas possibilitam muitas formas de avaliação (oral ou escrita, individual ou em grupo), que envolvem diversos tipos de competência. Vale enfatizar que o professor deve verificar não apenas o aprendizado do estudante sobre teorias, fatos e conceitos, mas também se ele é capaz de formular e criticar hipóteses e de aplicar o que aprendeu à resolução de problemas variados, transferindo o conhecimento para novas situações. E como foi dito no item *Avaliação*, na página 298, a avaliação formativa diz respeito também à aprendizagem de procedimentos e atitudes.

Visando a uma avaliação mais ampla, o professor poderá utilizar as atividades propostas após cada capítulo para avaliar seus alunos regularmente, ao longo dos tópicos desenvolvidos, e assim descobrir as coordenadas que deverão orientar os próximos passos no processo de ensino-aprendizagem.

Cabe lembrar que as atividades sugeridas no livro não esgotam as opções do professor, que poderá criar suas próprias atividades em função das condições específicas de cada turma.

Em resumo, o que a Coleção pretende é tornar a aprendizagem mais significativa para o aluno, apresentando textos, questões e atividades que despertem sua curiosidade e o estimulem a formular hipóteses para resolver problemas; que o levem a aplicar o que aprendeu a situações novas e a relacionar explicações científicas a fenômenos do cotidiano, à saúde, à tecnologia, ao ambiente, à questões sociais e éticas, questões, enfim, que afetam o bem-estar da sociedade; que o estimulem a pesquisar, individualmente e em grupo, informações pertinentes a determinado tema; e que o ajudem a desenvolver uma atitude responsável em relação ao ambiente e à sociedade.

Recursos adicionais

Embora o livro-texto seja um instrumento importante para facilitar a aprendizagem, ele não deve ser o único recurso disponível para o professor. Há diferentes meios de aprendizagem no processo que visa à construção do conhecimento, o que acontece por meio da interação entre estudantes e professores. Dependendo dos recursos de cada escola, o professor pode se valer de atividades que envolvam a participação ativa do estudante e lancem novos desafios, levando o aluno a refletir sobre suas concepções e, com isso, desencadear perguntas relacionadas ao assunto abordado.

Trabalhar com diversas fontes de informação e diferentes formas de apresentá-las é também um recurso muito importante para que os alunos conheçam, ampliem ou fortaleçam habilidades e procedimentos de busca, pesquisa e leitura. Na área de Ciências da Natureza, há suportes específicos, como os periódicos ou artigos de divulgação científica, que podem ser mais voltados para a troca de conhecimentos entre os próprios pesquisadores, ou podem ser mais amplos e voltados para a sociedade em geral. Apresentaremos na seção *Sugestões de leitura* deste Manual alguns exemplos desse tipo de material.

Em todos os casos, é possível planejar atividades em que o uso desses recursos seja realizado, trabalhando para além dos assuntos tratados nos artigos, as características peculiares desse tipo de suporte. Com isso, o aluno pode ampliar seu repertório de acesso à informação sem perder de vista o contexto e a leitura crítica.

Sugerimos abaixo outras possibilidades:

- *Leitura* de artigos na internet, de notícias de jornal ou revistas, ou de textos paradidáticos. Como complemento das atividades realizadas em aula ou daquelas propostas pelo livro, o professor pode pedir aos alunos que, em grupo, discutam entre si o tema abordado, exponham o que compreenderam e apresentem questões e dúvidas que tenham permanecido. Nas atividades de leitura, o uso do dicionário deve ser incentivado pelo professor, que pode circular entre os

grupos e ajudar os estudantes nesse trabalho. Da mesma forma, é importante que o aluno conheça a estrutura e as características da construção de um jornal ou revista. Para isso, é possível propor atividades interdisciplinares com as áreas de linguagem.

- *Filmes, vídeos ou séries* também podem complementar o trabalho do professor. Um exemplo são as programações educativas, como a da TV Escola, canal de televisão do Ministério da Educação. Para saber mais sobre a TV Escola, acesse o *site* <http://tvescola.mec.gov.br> (acesso em: 18 fev. 2016). O trabalho com filmes e programas é também uma excelente oportunidade de estabelecer relações entre diferentes disciplinas. Uma estratégia interessante é propor atividades de debate coletivo com as turmas e professores após assistir a um filme. Ou ainda, utilizar um determinado programa educativo para a realização de diferentes atividades em duas ou mais disciplinas.
- *Pesquisas na internet* são uma valiosa ferramenta tanto para o professor como para os estudantes. No entanto, é importante verificar com antecedência se os computadores da escola estão em boas condições, se os alunos dominam os procedimentos básicos para sua utilização e se conhecem os cuidados que devem ter com o equipamento. Também é fundamental verificar se há programas de proteção (antivírus) e de controle de acesso a *sites* inadequados. O professor também deve ficar atento para a dispersão dos estudantes por causa do grande volume de *sites* e informações disponíveis e deve orientar os procedimentos de busca, ajudando os estudantes a identificar *sites* confiáveis. Por fim, é preciso definir como o resultado da pesquisa deve ser apresentado, por exemplo, na forma de um relatório, redigido pelos próprios estudantes. Seja qual for a forma de apresentação, é importante trabalhar com a inserção dos *sites* como fontes de pesquisa ou bibliografia, trazendo a identificação dos *sites* usados e das instituições responsáveis por eles.
- *Visitas presenciais ou virtuais a espaços culturais*. As visitas a museus, centros culturais e de Ciências, jardins botânicos, etc. são valiosas experiências para o aluno. Nesses locais os alunos podem encontrar objetos ou espécimes reais e podem estabelecer formas diversas de interação com o conhecimento. Além das possibilidades de acesso à informação, as visitas escolares são muitas vezes as únicas ou primeiras experiências de acesso às instituições culturais, sendo assim ganham importância no sentido de incentivar os indivíduos a realizar visitas como parte de seu cotidiano. Para que as visitas sejam bem aproveitadas, é importante que o professor procure formas de trabalhar os conteúdos que serão vistos na exposição antes da visita e também fazer atividades após a saída, realizando um fechamento com a turma. Não se esqueça de entrar em contato previamente com a instituição e, se possível, realize uma visita antes de ir com o grupo. Algumas instituições oferecem palestras e materiais específicos para professores. Caso a visita presencial não seja viável, há a possibilidade de realizar visitas virtuais a partes de exposições ou ao acervo. Também há instituições que disponibilizam no *site* diferentes materiais sobre os assuntos tratados nas exposições.
- *Institutos de pesquisa e universidades* podem ser também recursos importantes no processo de ensino-aprendizagem. Algumas dessas instituições recebem visitas presenciais de grupos escolares, assim pode ser possível, por exemplo, visitar um laboratório de pesquisa real e em funcionamento. Em outros casos, as universidades oferecem muitas informações e materiais de pesquisa via *sites*. Da mesma forma que as visitas a instituições culturais, é importante o planejamento prévio por parte do professor para aproveitar melhor essa experiência.

Antes de apresentar aos alunos qualquer recurso adicional, o professor deve verificar se o material é adequado à faixa etária e/ou ao nível cognitivo dos estudantes. Veja as sugestões no item 7 deste Manual. Cabe ao professor também a pesquisa de informações complementares sobre o tópico abordado. Ao preparar a atividade, é interessante registrar os temas e as questões que devem/podem ser discutidos, a fim de facilitar aos estudantes a tarefa de estabelecer relações entre o tema do material e o conteúdo da disciplina e do livro-texto.

A atividade interdisciplinar

Como apresentamos no item *O Ensino de Biologia nos dias atuais*, a produção de conhecimento e o ensino passaram por um processo de setorização e especialização de áreas e disciplinas. Com isso, houve grande compartimentalização do conhecimento a ser ensinado, criando uma estrutura de

disciplinas que, muitas vezes, tratavam dos assuntos de forma individualizada e descontextualizada. A partir da década de 1960, críticas ao reducionismo e minimalismo desses modelos tradicionais começaram a repercutir em ações e diretrizes para o ensino. No Brasil, a presença da interdisciplinaridade em documentos oficiais se fortaleceu desde a criação da LDB de 1971, sendo muito mais presente nos PCN e PCN+.

Atualmente, temos em mente que muitos dos problemas que se apresentarão para o aluno ao longo de sua vida não poderão ser interpretados nem resolvidos satisfatoriamente sem um tratamento interdisciplinar. Portanto, a atividade pedagógica deve estimular essa forma de pensar. Nesse sentido, a interdisciplinaridade pode ser entendida como uma nova visão do mundo, propiciando ao aluno uma formação mais ampla e consciente, que lhe possibilite uma atuação cidadã frente à diversidade de situações complexas – sociais, econômicas, ambientais, etc. — presentes no mundo globalizado.

No livro do aluno, as atividades interdisciplinares aparecem muitas vezes na seção **Trabalho em equipe**. Essas propostas visam integrar o conhecimento de diferentes disciplinas por meio de uma participação ativa do estudante, estimulando uma postura reflexiva e crítica. O objetivo é que ele desenvolva atitudes e tenha iniciativa em relação a temas atuais.

A forma de apresentação dos projetos também é interdisciplinar, na medida em que trabalha com diferentes linguagens: elaboração de campanhas de conscientização da comunidade utilizando cartazes, vídeos, apresentação de *slides*, *slogans*, e, sempre que possível, as redes sociais da internet.

Acreditamos também que a interdisciplinaridade deva ser um objetivo do trabalho conjunto dos professores e da escola, criando condições para o estabelecimento de projetos e propostas em equipe. Desta forma, destacamos a necessidade, para além das iniciativas individuais e em cada disciplina, de um planejamento coletivo. Acerca disso, veja o que dizem os *PCN – Ensino Médio*[6]:

Assim, a consciência desse caráter interdisciplinar ou transdisciplinar, numa visão sistêmica, sem cancelar o caráter necessariamente disciplinar do conhecimento científico mas completando-o, estimula a percepção da inter-relação entre os fenômenos, essencial para boa parte das tecnologias, para a compreensão da problemática ambiental e para o desenvolvimento de uma visão articulada do ser humano em seu meio natural, como construtor e transformador deste meio. Por isso tudo, o aprendizado deve ser planejado desde uma perspectiva a um só tempo multidisciplinar e interdisciplinar, ou seja, os assuntos devem ser propostos e tratados desde um compreensão global, articulando as competências que serão desenvolvidas em cada disciplina e no conjunto de disciplinas, em cada área e no conjunto das áreas.

Assim, as propostas de trabalho interdisciplinar da seção **Trabalho em equipe** podem proporcionar a participação de professores de diferentes disciplinas, atuando durante toda atividade por meio de um projeto conjunto, especialmente entre as Ciências da Natureza. Podem ser feitos, por exemplo, experimentos em laboratório com professores de Química e Biologia, debates a respeito de questões de gênero e sexualidade mediados por professores das Ciências Biológicas e Humanas, estudos de meio ambiente com professores de Biologia, Geografia e História para entendimento mais sistêmico do ambiente estudado.

Ou ainda, os professores podem trabalhar em equipes menores nas diferentes etapas da atividade: no planejamento (escolha do tema, objetivos, metodologias, recursos, etc.), na assistência ao estudante durante a elaboração do projeto, na avaliação, etc.

A atividade interdisciplinar pode ser dividida em tópicos e devem ser dadas sugestões e orientações para que o aluno considere grande parte das interações do tema com fatores e aspectos históricos, geográficos, físicos, químicos, biológicos, matemáticos, etc.

Como também já destacamos em outros pontos deste Manual, a interdisciplinaridade foi estimulada via os PCN por meio dos Temas Transversais. Esses têm como pressuposto o aprendizado de competências que dependem de conceitos, habilidades e procedimentos comuns a diversas disciplinas. Assim, os professores podem extrapolar as propostas presentes na seção **Trabalho em equipe**, aproveitando os conteúdos presentes nos tópicos do livro, as sugestões de leitura, experimentos, etc. para propor outras atividades interdisciplinares.

[6] Brasil. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/Semtec, 2000, p. 9.

O conhecimento biológico para a diversidade

O conhecimento científico foi utilizado muitas vezes para justificar a exclusão e a discriminação racial, de gênero, de sexualidade entre outros, por muito tempo. Alguns conceitos vindos da Biologia, especificamente, serviram de base para teorias como o darwinismo social. Apesar dessa denominação, essa teoria não foi desenvolvida por Charles Darwin, já que ele nunca afirmou que o princípio da evolução por seleção natural poderia ser transportado para estudos da sociedade. Assim, o uso de algumas ideias científicas fora de seu devido contexto acabou dando força à movimentos eugênicos, sendo o nazismo o mais lembrado entre diversos outros.

Por outro lado, desde o final do século XX, os conhecimentos de genética têm servido para contra-argumentar a existência de raças biológicas dentro da espécie humana. Para que seja possível afirmar que duas populações formam raças diferentes uma da outra, é necessário que exista um conjunto de características exclusivo em uma das populações ou, pelo menos, muito mais frequente em uma delas do que em outra. Na espécie humana isso não é observado: a constituição genética de todos os indivíduos é muito parecida. O que existe é apenas uma pequena porcentagem de genes que se diferenciam: aqueles ligados à aparência física, à cor da pele, etc. Não há, portanto, justificativa biológica para a classificação da sociedade em raças.

É possível perceber, portanto, que as teorias desenvolvidas pela ciência podem ser poderosas e eficazes. Algumas delas podem levar ao desenvolvimento de tecnologias capazes de melhorar muito a qualidade de vida das pessoas. No entanto, o progresso científico não consegue resolver todos os problemas da sociedade. Quando mal interpretadas, por exemplo no caso do darwinismo social, algumas teorias científicas podem trazer consequências gravíssimas para a sociedade. As aplicações da ciência devem respeitar sempre os valores e os direitos humanos.

O Ministério da Educação (MEC) reconhece a importância do papel do docente na criação de sistemas educacionais inclusivos. Para isso, é necessário que o professor conheça maneiras de utilizar o conhecimento biológico para favorecer processos educativos emancipatórios e nunca para a segregação e discriminação. Foram selecionados livros, artigos, *sites* e referências, listados na seção *Sugestões de leitura para o professor*, que possibilitam uma leitura crítica do conhecimento biológico e podem fomentar debates e outros tipos de atividades que valorizem a compreensão de que esses conhecimentos contribuem para o reconhecimento e o posicionamento sobre os direitos humanos de respeito à pluralidade e à diversidade.

7 Sugestões de leitura para o professor

O êxito do processo de ensino-aprendizagem está muito ligado, entre outros fatores, ao nível de conhecimento do professor em relação aos temas que serão trabalhados com os alunos e também das estratégias pedagógicas que ele utilizará. Sendo assim, apresentamos a seguir uma série de livros, artigos e documentos que podem ajudar o professor a aprimorar seus conhecimentos, tanto na área pedagógica como nos temas de Biologia tratados nesta Coleção. É fundamental também que o professor se informe sobre temas ligados à diversidade e à pluralidade cultural para que consiga combater, junto aos alunos, qualquer tipo de discriminação e intolerância dentro e fora da sala de aula. Lembramos, no entanto, que – caso o professor deseje usar algum desses textos em aula – é imprescindível trabalhar as características desses textos com os alunos, ajudando na compreensão das informações ou ainda realizar a adequação ao nível cognitivo do aluno e ao processo específico de ensino-aprendizagem.

Sugestões gerais para a Coleção

Propostas do governo para o Ensino Médio

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *Parâmetros Curriculares Nacionais* – Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/ Semtec, 1999.

_____. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN – Ensino Médio*: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

_____. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006.

_____. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica. *Programa Ensino Médio Inovador*: Documento Orientador. Brasília: MEC-SEB, 2009.

_____. Ministério da Educação (MEC), Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. *Matriz de Referência para o Enem 2009*. Brasília: MEC-Inep, 2009.

Os documentos mencionados anteriormente estão disponíveis em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/materiais.html> (acesso em: 12 abr. 2016).

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Especial (SEESP). *Educar na Diversidade*. Material de Formação Docente. Brasília: MEC/SEESP, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/educarnadiversidade2006.pdf> (acesso em: 5 abr. 2016).

BRASIL, CNE/CP 003/2004. Ministério da Educação. *Diretrizes Curriculares Nacionais e para a Educação das Relações Étnico-Raciais e para o Ensino de História e Cultura Afro-Brasileira e Africana*. Brasília, 10 mar. 2004.

Interdisciplinaridade

CARLOS, J. G. *Interdisciplinaridade no ensino médio*: desafios e potencialidades. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

FAZENDA, I. (Org.). *Práticas interdisciplinares na escola*. 13. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

FLICKINGER, Hans-Georg. O Fundamento Hermenêutico da Interdisciplinaridade. In: AUDY, J. L. N.; MOROSINI, M. C. (Org.). *Inovação e interdisciplinaridade na universidade*. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007, p. 123-138.

JANTSCH, A. P.; Bianchetti, L. (Org.) *Interdisciplinaridade:* para além da filosofia do sujeito. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.

LUCK, H. *Pedagogia interdisciplinar:* fundamentos teórico-metodológicos. 11. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003.

MORIN, Edgar. Desafio da transdisciplinaridade e da complexidade. In: AUDY, J. L. N.; MOROSINI, M. C. (Org.). *Inovação e interdisciplinaridade na universidade*. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007, p. 22-28.

Diversidade e pluralidade

ABRAMOWICZ, A.; SILVÉRIO, V. R. *Afirmando diferenças*: montando o quebra-cabeça da diversidade na escola. Campinas: Papirus, 2005.

ALVES, Branca Moreira; PITANGUY, Jacqueline. *O que é feminismo*. São Paulo: Brasiliense, 1985. (Primeiros Passos, n. 20).

AMBROSETTI, Neusa Banhara. O "eu" e o "nós": trabalhando com a diversidade em sala de aula. In: ANDRÉ, Marli (Org.). *Pedagogia das diferenças na sala de aula*. 3. ed. São Paulo, p. 81-105.

ARAUJO, Luiz Alberto David. *Proteção constitucional das pessoas portadoras de deficiência*, 3. ed. Brasília: CORDE, 2003.

AUD, D. *Educar meninas e meninos*. Relações de gênero na escola. São Paulo: Contexto, 2006.

BARROSO, Carmen. *Mulher, sociedade e estado no Brasil*. Brasília, Unicef; São Paulo: Brasiliense, 1982. 190 p.

BELTRÃO, Kaizô Iwakami; ALVES, José Eustáquio Diniz. A reversão do hiato de gênero na educação brasileira no século XX. *Cadernos de Pesquisa*, v. 39, n. 136, p. 125-156, 2009.

BENTO, Berenice. *O que é transexualidade*. São Paulo: Brasiliense, 2008.

BEVERVANÇO, Rosana Beraldi. *Direitos da pessoa portadora de deficiência:* da exclusão à igualdade. Curitiba: CAOPPDI, 2001.

BORGES, Edson; MEDEIROS, Carlos Alberto; D'ADESKY, Jacques. *Racismo, preconceito e intolerância*. São Paulo: Atual, 2002.

BRUSCHINI, Cristina. *Mulher e trabalho:* uma avaliação da década da mulher. São Paulo: Nobel; CECF, 1985. 147 p. (Série: Década da Mulher).

_____. Trabalho doméstico: inatividade econômica ou trabalho não remunerado. In: ARAÚJO, C.; PICANÇO, F.; SCALON, C. *Novas conciliações e antigas tensões?:* gênero, família e trabalho em perspectiva comparada. São Paulo, Edusc: 2008, p. 21-58.

BUTLER, Judith. *Problemas de gênero:* feminismo e subversão da identidade. 8. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2015.

CANÇADO TRINDADE, Antônio Augusto. *Tratado de direito interna.cional dos direitos humanos*. Porto Alegre: Sérgio Antônio Fabris, 1997. V. III.

CARNEIRO, Sueli; SANTOS, Thereza; COSTA, Albertina G. O. *Mulher negra:* política governamental e a mulher. São Paulo: Nobel; CECF, 1985. 141 p. (Série: Década da Mulher).

CARVALHO, Marília P.; PINTO, Regina P. (Org.). *Mulheres e desigualdades de gênero*. São Paulo: FCC; Contexto, 2008. 208 p. (Série: Justiça e Desenvolvimento/IFP--FCC).

CAVALLEIRO, E. *Do silêncio do lar ao silêncio escolar*: racismo, preconceito e discriminação na educação infantil. São Paulo: Contexto, 2000.

COMPARATO, Fábio Konder. *A afirmação histórica dos direitos humanos*. São Paulo: Saraiva, 2008.

COSTA, Albertina O.; SORJ, Bila; BRUSCHINI, Cristina (Org.). *Mercado de trabalho e gênero:* comparações internacionais. Rio de Janeiro: FGV, 2008. 420 p.

D'ADESKY, J. *Pluralismo étnico e multiculturalismo:* racismos e antirracismos no Brasil. Rio de Janeiro: Pallas, 2001.

DEBERT, Guita Grin. *A reinvenção da velhice*. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo: Fapesp, 1999.

FERRARI, A. *Esses alunos desumanos:* a construção das identidades homossexuais na escola. Educação e Realidade, Porto Alegre, v. 1, n. 28, p. 87-111, jan./jul.2003.

FOUCAULT, Michel. *História da sexualidade:* a vontade de saber. Trad. Maria Thereza da Costa Albuquerque e J. A. Guilhon Albuquerque. 9. ed. Rio de Janeiro: Graal, 1988. v. I.

GÊNERO e diversidade na escola: formação de professoras/es em gênero, orientação sexual e relações étnico-raciais. Livro de conteúdo. Versão 2009. Rio de Janeiro: Cepesc, 2009. Disponível em: <www.clam.org.br/bibliotecadigital/uploads/publicacoes/405_1447_GDEVOL2final.pdf> (acesso em: 6 abr. 2016).

GONÇALVES, Luiz Alberto Oliveira; GONÇALVES E SILVA, Petronilha Beatriz. *O jogo das diferenças:* o multiculturalismo e seus contextos. Belo Horizonte: Autêntica, 1998.

HENRIQUES, R. *Raça e gênero nos sistemas de ensino:* os limites das políticas universalistas na educação. Brasília: Unesco, 2002.

LAQUEUR, Thomas. *Gênero, sexualidade e educação*. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2004.

LIMA, Maria Nazaré Mota de (Org). *Escola Plural:* a diversidade está na sala de aula. Salvador. Cortez: Unicef – Ceafro, 2006.

LOURO, Guacira (Org.). *O corpo educado:* pedagogia da sexualidade. 2. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

_____; NECKEL, J. F.; GOELLNER, S. V. *Corpo, gênero e sexualidade:* um debate contemporâneo na Educação. Petropólis: Vozes, 2013.

MADEIRA, Felícia R. (Org.). *Quem mandou nascer mulher?* Estudos sobre crianças e adolescentes pobres no Brasil. Rio de Janeiro: Record; Rosa dos Tempos, 1997. 402 p.

MAZZEO, Carla Costa da Silva. *Preconceito e discriminação de gênero:* conceitos, estigmas e educação para a construção de uma nova conduta social. Curitiba: Juruá, 2015.

MCLAREN, Peter, *Multiculturalismo crítico*. Instituto Paulo Freire. São Paulo: Cortez, 1997.

MOURA, Glória. O direito à diferença. In: MUNANGA, Kabengele. *Superando o racismo na escola*. Secad/MEC, Brasília, 2005, p. 69-82.

NADUR, Marcelo. *Síndrome de Down:* relato de um pai apaixonado. São Paulo: Global (Edição Digital), 2012.

PAIVA, Luiz Airton de; VIEIRA, Tereza Rodrigues. *Identidade sexual e transexualidade*. São Paulo: Roca, 2009.

PAIXÃO, M. J. P. *Desenvolvimento humano e relações raciais*. Rio de Janeiro: DP&A, 2003. (Políticas da Cor).

PENA, S. D. J. *Humanidade sem raças?*. São Paulo: Publifolha, 2008.

ROSE, M. R. *O espectro de Darwin:* a teoria da evolução e suas implicações no mundo. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.

SELL, Teresa A. *Identidade homossexual e normas sociais*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1987. (Histórias de vida).

SILVA, Otto Marques da. *A epopeia ignorada:* a pessoa deficiente na história do mundo de ontem e de hoje. São Paulo: Cedas, 1986.

TREVISAN, João Silvério. *Devassos no paraíso:* a homossexualidade no Brasil, da colônia à atualidade. 6. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Record, 2000.

VIEIRA, Liszt. *Cidadania e globalização*. Rio de Janeiro: Record, 1997.

Sobre o processo ensino--aprendizagem em geral

BAQUERO, R. *Vygotsky e a aprendizagem escolar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

BUSQUETS, M. D. et al. *Temas transversais em educação:* bases para uma formação integral. 4. ed. São Paulo: Ática, 1999.

CASTORINA, J. A. et al. *Piaget e Vygotsky:* novas contribuições para o debate. São Paulo: Ática, 1995.

CHERVEL, A. História das disciplinas escolares: reflexões sobre um campo de pesquisa. *Teoria e Educação*, n. 2, p. 177-229, 1990.

COLL, César. Contribuições da Psicologia para a Educação: teoria genética e aprendizagem escolar. In: LEITE, Luci B. *Piaget e a Escola de Genebra*. São Paulo: Cortez, 2012, p. 164-197.

_____ et al. *O construtivismo na sala de aula*. São Paulo: Ática, 2006.

_____ et al. *Os conteúdos na reforma:* ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes. Porto Alegre: Artmed, 1998.

DANIELS, H. (Org.). *Vygotsky em foco:* pressupostos e desdobramentos. 2. ed. Campinas: Papirus, 1995.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia:* saberes necessários à prática educativa. 11. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREITAG, B. (Org.). *Piaget:* 100 anos. São Paulo: Cortez, 1997.

GEELAN, D. R. Epistemological Anarchy and the Many Forms of Constructivism. *Science & Education*, v. 6, n. 1-2, p. 15-28, 1997.

GIL-PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.

HAYDT, R. C. *Avaliação do processo ensino-aprendizagem*. 6. ed. São Paulo: Ática, 1997.

JANTSCH, A. P.; BIANCHETTI, L. (Org.). *Interdisciplinaridade:* para além da filosofia do sujeito. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

LEITE, L. B. *Piaget e a Escola de Genebra*. São Paulo: Cortez, 2012.

MATTHEWS, M. R. (Ed.). *Constructivism in Science Education:* a Philosophical Examination. Dordrecht: Kluwer, 1998.

MOLL, L. C. *Vygotsky e a Educação:* implicações pedagógicas da Psicologia sócio-histórica. Porto Alegre: Artmed, 1996.

OLIVEIRA, M. K. de. *Vygotsky:* aprendizado e desenvolvimento, um processo histórico. 5. ed. São Paulo: Scipione, 2010.

PERRENOUD, P. *Avaliação:* da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas. Porto Alegre: Artmed, 1999.

_____. *Construir as competências desde a escola*. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PIMENTA, S. G. Formação de professores: identidade e saberes da docência. In: _____ (Org.). *Saberes pedagógicos e atividade docente*. São Paulo: Cortez, 1999, p. 15-34.

SAVIANI, D. Os saberes implicados na formação do educador. In: BICUDO, M. A.; SILVA JUNIOR, C. A. (Org.). *Formação do educador:* dever do Estado, tarefa da universidade. São Paulo: Unesp, 1996, p. 145-155.

SEBER, M. G. *Piaget*: o diálogo com a criança e o desenvolvimento do raciocínio. São Paulo: Scipione, 2006.

TARDIF, M. Saberes profissionais dos professores e conhecimentos universitários – Elementos para uma epistemologia da prática profissional dos professores e suas consequências em relação à formação para o magistério. *Revista Brasileira de Educação*, Anped, São Paulo, n. 13, jan./abr. 2000, p. 5-24.

_____; LESSARD, C.; LAHAYE, L. Os professores face ao saber: esboço de uma problemática do saber docente. *Teoria & Educação*, Porto Alegre, n. 4, p. 215-253, 1991.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

_____. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 2015.

Aprendizagem significativa

AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology:* a Cognitive View. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1968.

_____. *The Acquisition and Retention of Knowledge:* a Cognitive View. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

_____; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. 2. ed. Brasília: Ed. da UnB, 2001.

_____; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa:* a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2001.

NOVAK, J. D. *A Theory of Education*. Ithaca: Cornell University Press, 1977.

_____; GOWIN, D. B. *Learning How to Learn*. New York: Cambridge University Press, 1984.

Aprendizagem por mudança conceitual

CAREY, S. Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change? In: _____; GELMAN, E. (Ed.). *The Epigenesis of Mind*. Hillsdale: Erlbaum, 1991, p. 257-291.

CHAMPAGNE, A. B.; KLOPFER, L. E.; GUNSTONE, R. F. Cognitive Research and the Design of Science Instruction. *Educational Psychologist*, n. 17, p. 31-53, 1982.

CHI, M. Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. In: GIERE, R. (Ed.). *Cognitive Models of Science:* Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis: U. M. P., 1992, p. 129-186.

CHINN, C. A.; BREWER, W. F. The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: a Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, v. 63, n. 1, p. 1-49, 1993.

COBERN, W. W. Worldview Theory and Conceptual Change in Science Education. *Science Education*, v. 80, n. 5, p. 579-610, 1996.

HEWSON, M.; HEWSON, P. W. Effect of Instruction Using Students' prior Knowledge in Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 20, n. 8. p. 731-43, 1983.

HEWSON, P. W. A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*, v. 3, n. 4, p. 383-96, 1981.

_____. The Role of Conceptual Conflict in Conceptual Change and the Design of Science Instruction. *Instructional Science*, n. 13, p. 1-13, 1984.

_____; BEETH, M. E.; THORLEY, N. R. Teaching for Conceptual Change. In: TOBIN, K. G.; FRASER, B. J. (Ed.). *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998, p. 199-218.

_____; THORLEY, N. R. The Conditions of Conceptual Change in the Classroom. *Int. J. Sci. Educ.*, n. 11, p. 541--543, 1989. (Special Issue).

LIMÓN, M.; MASON, L. (Ed.). *Reconsidering Conceptual Change:* Issues in Theory and Practice. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

MORTIMER, E. F. Conceptual Change or Conceptual Profile Change? *Science & Education*, v. 4, n. 3, p. 265--287, 1995.

_____. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? In: *Investigações em ensino de Ciências*. UFRGS, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

NUSSBAUM, J.; NOVICK, N. Alternative Frameworks, Conceptual Conflict, and Accomodation: Toward a Principled Teaching Strategy. *Instructional Science*, n. 11, p. 183-200, 1982.

PFUNDT, H.; DUIT, R. *Bibliography of Students' Alternative Frameworks and Science Education*. 3. ed. Kiel: University of Kiel, Institute for Science Education, 1991.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-27, 1982.

STRIKE, K. A. Misconceptions and Conceptual Change: Philosophical Reflection on the Research Program. In: HELM, H.; NOVAK, J. (Ed.). *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca: Cornell University, 1983, p. 67-78.

_____; POSNER, G. J. A Revisionist Theory of Conceptual Change. In: DUSCHL, R. A.; HAMILTON, R. J. (Ed.). *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. Albany: State University of New York, 1992, p. 147-176.

_____. Conceptual Change and Science Teaching. *European Journal of Science Education*, v. 4, n. 3, p. 231-240, 1982.

VILLANI, A. Conceptual Change in Science and Science Education. *Science Education*, v. 76, n. 2, p. 223-237, 1992.

VOSNIADOU, S. Capturing and Modelling the Process of Conceptual Change. *Learning and Instruction*, v. 4, p. 45-69, 1994.

WEST, L.; PINES, A. (Ed.). *Cognitive Structure and Conceptual Change*. New York: Academic Press, 1985.

Ensino de Ciências e Biologia

AXT, R.; MOREIRA, M. A. (Org.). *Tópicos em ensino de ciências*. Porto Alegre: Sagra, 1991.

BIZZO, N. *Ciências:* fácil ou difícil?. São Paulo: Biruta, 2010.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de Ciências:* tendências e inovações. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

FAGUNDES, S. M. K. *Experimentação nas aulas de ciências:* um meio para a formação da autonomia? In: GALIAZZI, M. C. et al. *Construção curricular em rede na educação em Ciências:* uma aposta de pesquisa na sala de aula. Ijui: Unijuí, 2007, p. 317-336.

FRANCELIN, M. M. Ciência, senso comum e revoluções científicas: ressonâncias e paradoxos. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 33, n. 3, p. 26-34, set./dez. 2004.

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

MARANDINO, M.; SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S.; AMORIM, A. C. (Org.). *Ensino de Biologia:* conhecimentos e valores em disputa. Niterói: Eduff, 2005.

MATTHEWS, M. R. *Science Teaching:* the Role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge, 1994.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa:* a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

NARDI, R. (Org.). *Questões atuais no ensino de Ciências.* São Paulo: Escrituras, 2001.

WEISSMAN, H. (Org.). *Didática das ciências naturais*: contribuições e reflexões. Porto Alegre: Artmed, 1988.

Biologia em geral

COSTA, V. R. da; COSTA, E. V. da (Org.). *Biologia:* Ensino Médio. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. v. 6. (Coleção Explorando o Ensino).

EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (Org.). *O que é vida?:* para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000.

RAVEN, P. H. et al. *Biology*. 7. ed. Boston: McGraw-Hill, 2005.

REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

SADAVA, David et al. *Vida:* a ciência da Biologia. Célula e hereditariedade. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. v. 1.

_____. *Vida:* a ciência da Biologia. Evolução, diversidade e Ecologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. v. 2.

_____. *Vida:* a ciência da Biologia. Plantas e animais. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. v. 3.

SOLOMON, E. P.; BERG, L. R.; MARTIN, C.; MARTIN, D. W; BERG, L. R. *Biology*. 10. ed. Belmont: Brooks Cole, 2014.

Metodologia, História e Filosofia da ciência

ALVES, R. *Filosofia da ciência*. São Paulo: Loyola, 2000.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. *O método nas ciências naturais e sociais:* pesquisa quantitativa e qualitativa. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1999.

ANDERY, M. A. et al. *Para compreender a ciência:* uma perspectiva histórica. 14. ed. São Paulo: Educ, 2003.

CHALMERS, A. *A fabricação da ciência*. São Paulo: Unesp, 1994.

DUTRA, L. H. de A. *Introdução à teoria da ciência*. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2009.

HENIG, R. M. *O monge no jardim:* o gênio esquecido e redescoberto de Gregor Mendel, o pai da Genética. Rio de Janeiro: Rocco, 2001.

JACOB, F. *A lógica da vida:* uma história da hereditariedade. Rio de Janeiro: Graal, 2001.

KNELLER, G. F. *A ciência como atividade humana*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar; São Paulo: Edusp, 1980.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. 8. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LAUDAN, L. *Science and Relativism:* Some Key Controversies in the Philosophy of Science. Chicago: The University of Chicago Press, 1990.

MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico:* diversidade, evolução e herança. Brasília: Ed. da UnB, 1998.

OLIVA, A. *Filosofia da ciência*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

RONAN, C. A. *História ilustrada da ciência*. 2. ed. Rio de Janeiro: Cambridge University-Jorge Zahar, 2002. 4 v.

SAGAN, C. *O mundo assombrado pelos demônios:* a ciência como uma vela no escuro. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 223-233, 2005.

VIEIRA, S.; HOSSNE, W. S. *Metodologia científica para a área de saúde*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

Sugestões específicas para o Volume 3

Genética

BORGES-OSÓRIO, M. R.; WANYCE, M. R. *Genética humana*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

DAVIES, K. *Decifrando o genoma*. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

FARAH, S. B. *DNA:* segredos e mistérios. São Paulo: Sarvier, 2007.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

LEWIN, B. *Genes VII*. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.

LIMA, C. P. *Genética humana*. 3. ed. São Paulo: Harbra, 1996.

MILLER, J. H. et al. *Introdução à Genética*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

MOTTA, P. A. *Genética humana aplicada à Psicologia e toda a área biomédica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

PIERCE, B. A. *Genética:* um enfoque conceitual. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

RINGO, J. *Genética básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

Código genético, tecnologia do DNA e bioética

ARAGÃO, F. J. L. *Organismos transgênicos:* explicando e discutindo a tecnologia. Barueri: Manole, 2003.

BELLINO, F. *Fundamentos da Bioética*. Bauru: Edusc, 1997.

BERNARD, J. A. *Bioética*. São Paulo: Ática, 1998.

FAGUNDES, M. B. *Aprendendo valores éticos*. Belo Horizonte: Autêntica, 2000.

FARAH, S. B. *DNA:* segredos e mistérios. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2007.

GARRAFA, V.; COSTA, S. I. F. (Org.). *A Bioética no século XXI*. Brasília: Ed. da UnB, 2000.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

JUNGUES, J. R. *Bioética:* perspectivas e desafios. São Leopoldo: Ed. da Unisinos, 1999.

KREUZER, H.; MASSEY, A. *Engenharia genética e biotecnologia*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

LEITE, M. *Os alimentos transgênicos*. São Paulo: Publifolha, 2000.

MALAJOVICH, M. A. *Biotecnologia*. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

MOLINA, A. et al. (Org.). *Bioética e humanização:* vivências e reflexões. Recife: Edupe, 2003.

RIDLEY, M. *Genoma:* a autobiografia de uma espécie em 23 capítulos. Rio de Janeiro: Record, 2001.

RUMJANEK, F. D. *Introdução à Biologia molecular*. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 2001.

SEGRE, M.; COHEN, C. (Org.). *Bioética*. 3. ed. São Paulo: Edusp, 2002.

SNUSTAD, D. P. ; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

Evolução

BIZZO, N. *Darwin:* do telhado das Américas à teoria da evolução. São Paulo: Odysseus, 2008.

BROWNE, J. *A origem das espécies de Darwin:* uma biografia. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2007.

CARROLL, S. B. *Infinitas formas de grande beleza:* como a evolução forjou a grande quantidade de criaturas que habitam o nosso planeta. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

_____. *The Making of the Fittest; DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution*. New York: W. W. Norton, 2007.

COYNE, J. A. *Why Evolution is True*. New York: Penguin, 2009.

CRONIN, H. *A formiga e o pavão:* altruísmo e seleção natural de Darwin até hoje. São Paulo: Papirus, 1995.

DARWIN, C. *A origem das espécies*. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1985.

DAWKINS, R. *A escalada do monte improvável:* uma defesa da teoria da evolução. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

DAWKINS, R. *O relojoeiro cego*. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (Org.). *O que é vida?* Para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000.

FORTEY, R. *Vida:* uma biografia não autorizada. Rio de Janeiro: Record, 2000.

FUTUYMA, D. *Biologia evolutiva*. Ribeirão Preto: Funpec, 2009.

GOULD, S. J. *A galinha e seus dentes e outras reflexões sobre história natural*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

_____. *A montanha de moluscos de Leonardo da Vinci*. São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

_____. *Darwin e os grandes enigmas da vida*. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

_____. *Dedo mindinho e seus vizinhos:* reflexões sobre história natural. São Paulo: Companhia das Letras, 1993.

_____. *Dinossauro no palheiro*. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

_____. *Lance de dados:* a ideia de evolução de Platão a Darwin. Rio de Janeiro: Record, 2001.

_____. *O polegar do panda:* reflexões sobre história natural. São Paulo: Martins Fontes, 1990.

_____. *O sorriso do flamingo:* reflexões sobre história natural. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

_____. *Vida maravilhosa:* o acaso na evolução e a natureza da história. São Paulo: Companhia das Letras, 1990.

_____. *Viva o brontossauro.* São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

HARTL, D. L. *Princípios de genética de população*. 3. ed. Ribeirão Preto: Funpec Editora, 2008.

KEYNES, R. *Aventuras e descobertas de Darwin a bordo do Beagle*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2004.

LANDIM, M. I.; MOREIRA, C. R. (Org.). *Charles Darwin:* em um futuro não tão distante. São Paulo: Instituto Sangari, 2009.

MAYR, E. *Biologia, ciência única:* reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

_____. *Isto é Biologia:* a ciência do mundo vivo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

_____. *O desenvolvimento do pensamento biológico:* diversidade, evolução e herança. Brasília: Ed. da UnB, 1998.

MEYER, D.; EL-HANI, C. N. *Evolução:* o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. da Unesp, 2005.

MOORE, J.; DESMOND, A. J. *Darwin:* a vida de um evolucionista atormentado. 5. ed. São Paulo: Geração Editorial, 2007.

PENA, S. D. J. *Humanidade sem raças?*. São Paulo: Publifolha, 2008.

RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

ROSE, M. R. *O espectro de Darwin:* a teoria da evolução e suas implicações no mundo. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.

SCIENTIFIC American Brasil. Edição especial: a evolução da evolução. São Paulo: Duetto editorial. n. 81, fev. 2009.

SHUBIN, N. *A história de quando éramos peixes:* uma revolucionária teoria sobre a origem do corpo humano. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

STEARNS, S. C.; HOEKSTRA, R. F. *Evolução, uma introdução*. São Paulo: Atheneu, 2003.

STEFOFF, R. *Charles Darwin:* a revolução da evolução. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

WIENER, J. *O bico do tentilhão:* uma história da evolução no nosso tempo. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

ZIMMER, C. *À beira d'água:* macroevolução e a transformação da vida. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1999.

_____. *O livro de ouro da evolução:* o triunfo de uma ideia. 2. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2009.

Ecologia

BAIRD, C. *Química ambiental*. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2011.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CAMDESSUS, M. *Água:* oito milhões de mortos por ano. Um escândalo mundial. São Paulo: Bertrand Brasil, 2005.

DAJOZ, R. *Princípios de Ecologia*. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

GORE, A. *Uma verdade inconveniente:* o que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento global. São Paulo: Manole, 2006.

PINTO-COELHO, R. M. *Fundamentos de Ecologia*. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. (*e-book*)

RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. *Fundamentos em Ecologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TUNDISI, J. G. *Água no século XXI:* enfrentando a escassez. São Carlos: Rima, 2005.

WALKER, G.; KING, D. *O tema quente:* como combater o aquecimento global e manter as luzes acesas. Rio de Janeiro: Objetiva, 2008.

8 Sugestões de *sites* de museus e outros espaços de Ciências

Alguns *sites* de museus, exposições e outros espaços de Ciências que podem ser indicados pelo professor para serem visitados pelos alunos, complementando a visita presencial (acessos em: 27 abr. 2016).

Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciências: <www.abcmc.org.br/publique1/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?tpl=home>

Bosque da Ciência – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) – Manaus, AM
<http://bosque.inpa.gov.br/>

Casa da Descoberta
Universidade Federal Fluminense – Niterói, RJ
<www.uff.br/casadadescoberta/index.html>

Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC)
Universidade de São Paulo – São Carlos, SP
<www.cdcc.sc.usp.br>

Espaço Ciência
Secretaria e Tecnologia (Sectec) – Olinda, PE
<www.espacociencia.pe.gov.br>

Espaço Ciência Viva – Rio de Janeiro, RJ
<www.cienciaviva.org.br>

Museu de Astronomia e Ciências Afins (Mast)
Ministério da Ciência e Tecnologia – Rio de Janeiro, RJ
<www.mast.br>

Museu Arqueológico do Rio Grande do Sul (Marsul)
Secretaria do Estado da Cultura – Taquara, RS
<www.sedac.rs.gov.br>

Museu de Ciência e Tecnologia (MCT)
Universidade do Estado da Bahia – Salvador, BA
<www.uneb.br/mct>

Museu de Geologia
Serviço Geológico do Brasil – Porto Alegre, RS
<www.cprm.gov.br>

Museu Geológico Valdemar Lefèvre
Instituto Geológico – São Paulo, SP
<www.mugeo.sp.gov.br>

Museu Virtual de Ciências e Tecnologia da Universidade de Brasília – Distrito Federal
<www.museuvirtual.unb.br/index.htm>

Planetário – Universidade Federal de Goiás – Goiânia, GO
<www.planetario.ufg.br>

Planetário Aristóteles Orsini – Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente – São Paulo, SP
<www.parqueibirapuera.org/equipamentos-parque-ibirapuera/planetario-ibirapuera-prof-aristoteles-orsini/>

Planetário Espaço Cultural – Espaço Cultural José Lins do Rego – João Pessoa, PB
<www.funesc.pb.gov.br> (Acesse “Espaço cultural” e, em seguida, “Planetário”)

Planetário de Londrina – Universidade Estadual de Londrina – Londrina, PR
<www.uel.br/planetario>

Projeto Escolas da Ciência – Biologia e História – Vitória, ES
<www.vitoria.es.gov.br/seme.php?pagina=escolabiologiahistoria>

Seara da Ciência – Fortaleza, CE
<www.seara.ufc.br/>

9 Sugestões de abordagem e comentários

Apresentamos a seguir sugestões de abordagem de cada capítulo, comentando também algumas novidades e controvérsias atuais da Biologia.

CAPÍTULO 1: Primeira lei de Mendel

Nesse capítulo iniciamos o estudo das leis da hereditariedade.

É interessante verificar como está o conhecimento dos alunos acerca da divisão celular, pois essa informação, somada a um conhecimento básico das leis da probabilidade, é importante para que o aluno compreenda as leis da Genética.

O professor também pode avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre cromossomos homólogos, tópico estudado no primeiro Volume desta Coleção. Esse conhecimento é necessário para a compreensão do conceito de alelo, isto é, da forma alternativa de um gene. Da mesma maneira, convém verificar se os alunos já dominam o conhecimento básico sobre mitose e meiose, tipos de divisão celular também estudados no Volume 1 desta Coleção.

Para fazer essa verificação, o professor pode lançar perguntas como os exemplos a seguir: "Como os gametas dos animais são produzidos?"; "Quantos cromossomos os gametas possuem em relação às células somáticas?"; "Que tipo de divisão reduz à metade o número de cromossomos de uma célula?"; "Como e onde essa divisão de redução ocorre?". A meiose também pode ser relembrada utilizando-se o esquema simplificado da figura 1.6 (p. 16). O professor pode se valer ainda dos três primeiros itens da segunda questão de **Atividades** para avaliar o conhecimento do aluno sobre mitose e meiose. Já o último item dessa questão, bem como as questões 6, 7 e 19, podem ser utilizados ao final do capítulo para verificar se o aluno tem condições de relacionar a meiose com a primeira lei de Mendel.

Como atividade prática, o professor pode orientar os alunos na construção de modelos de meiose. Usando palitos ou massa de modelar, por exemplo, é possível representar os cromossomos, aplicando diferentes marcações para representar os alelos. Com esses modelos, eles poderão simular as fases de metáfase e anáfase da meiose, o que irá facilitar a compreensão de que os alelos se distribuem em gametas diferentes e que, portanto, em gametas não há pares de alelos (essa atividade prática é particularmente importante no estudo do di-hibridismo, como veremos adiante).

A atividade pode ser feita também com peças de dominó. Para mais informações sobre essa abordagem, o professor pode consultar o seguinte artigo: KLAUTAU-GUIMARÃES, M. N. et. al. Combinar e recombinar com os dominós. *Genética na escola*, ano 3, vol. 2, p. 1-7, 2008. Disponível em: <http://media.wix.com/ugd/b703be_58b9f3a11429490186debfd6df0cdfb9.pdf> (acesso em: 6 abr. 2016).

A publicação *Genética na escola* é uma revista semestral publicada pela Sociedade Brasileira de Genética (SBG). A obra é voltada para professores do Ensino Médio e Superior e contém artigos sobre atualidades, ensino e atividades práticas em genética, além de discussões sobre metodologias de ensino nessa área. O *site* da revista é: <www.geneticanaescola.com.br> (acesso em: 6 abr. 2016).

O professor deve lembrar ao aluno que na meiose pode ocorrer o fenômeno da permutação (*crossing-over*) entre os cromossomos homólogos. No entanto, como esse fenômeno afeta apenas a distribuição de genes ligados (situados no mesmo cromossomo), ele não será levado em conta no estudo do monoibridismo. Ao longo do estudo da Genética, o aluno deverá compreender que as leis de Mendel não se aplicam a todos os casos, o que é uma situação natural na história do conhecimento científico: novas descobertas podem revelar falhas em nosso conhecimento, de modo que ele pode ser corrigido e melhorado ao longo do tempo.

É importante reforçar para os alunos, sempre que possível, que os genes não são os únicos fatores responsáveis pelo fenótipo de um organismo.

Para isso, é interessante trabalhar o conceito de norma de reação. Esse é um conceito importante para combater a concepção errônea de determinismo genético e que ajuda o aluno a compreender que o potencial genético (genótipo) recebido dos pais não é o único fator a influenciar as características de um indivíduo. O professor pode ainda pedir uma pesquisa para ampliar o conhecimento do aluno sobre a nova área de pesquisa, a Epigenética (p. 25).

Para enfatizar a influência ambiental sobre os efeitos dos genes, o professor pode argumentar que até mesmo o padrão de impressão digital, por exemplo, que tem forte influência genética, pode ser modificado ainda na vida intrauterina, quando o feto toca com os dedos a membrana do âmnio. Isso explica por que as impressões digitais de gêmeos univitelinos não são exatamente iguais, apesar de eles terem os mesmos genes. Outro exemplo que pode ser citado é o de alguém com tendência genética para a obesidade que pode manter um peso ideal controlando a alimentação. Nesse caso, um fator ambiental – o controle da dieta – pode impedir que um possível efeito genético apareça.

O professor pode realizar aqui uma revisão do funcionamento do código genético, estudado no Volume 1, ou pedir aos alunos um trabalho sobre esse tema, ajudando-os a fazer uma conexão entre os conceitos da genética mendeliana e da genética molecular. Pode pedir, por exemplo, uma pesquisa sobre a mutação que ocorre em uma base nitrogenada do DNA no caso da anemia falciforme.

Na revisão do funcionamento do código genético, o professor deve chamar a atenção para a complexidade da interação, não apenas entre os genes e o ambiente, mas entre todos os elementos do genoma, das proteínas e de outros produtos do metabolismo da célula; assim como para a complexidade do próprio conceito de gene, lembrando que um segmento de DNA pode originar mais de uma proteína ou de uma cadeia polipeptídica, pela remoção de segmentos de trechos do RNA que não participam da codificação da sequência de aminoácidos de uma proteína. Além disso, boa parte de nosso DNA não codifica proteína e está envolvida, por exemplo, na regulação da atividade dos genes.

Para saber mais sobre o conceito de gene e também de detalhes recentes sobre ácidos nucleicos e expressão gênica, o professor pode consultar os livros, artigos e *site*s relacionados a seguir (os endereços eletrônicos sugeridos foram acessados em: 6 abr. 2016):

AMARAL, P. P. R.; VERJOVSKI-ALMEIDA, S. Decifrando o silêncio. *Ciência Hoje*, n. 233, dez. 2006, p. 14-15.

EL-HANI, C. N. Between the Cross and the Sword: The Crisis of the Gene Concept. *Genetics and Molecular Biology*, 30(2), p. 297-307, 2007. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/gmb/v30n2/a01v30n2.pdf>.

FRANCIS, R. C. *Epigenética:* como a ciência está revolucionando o que sabemos sobre hereditariedade. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2015.

GRIFFITHS, P. E.; NEUMANN-HELD, E. The Many Faces of the Gene. *BioScience*, 49(8), 1999, p. 656-662.

JOAQUIM, L. M.; EL-HANI, C. N. A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. *Scientiae studia*, 8(1), 2010, p. 93-128.

KELLER, E. F. *O século do gene*. Belo Horizonte: Crisálida, 2002.

WAIZBORT, R.; SOLHA, G. C. Os genes interrompidos: o impacto da descoberta dos íntrons sobre a definição de gene molecular clássico. *Revista da SBHC*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 63-84, jan.-jul. 2007.

Na internet (acessos em: 7 abr. 2016):

<www.mast.br/arquivos_sbhc/324.pdf>

<www.ufsm.br/blg220/hide/genes.htm>

<http://www.genetica.ufcspa.edu.br/seminarios%20monitores/transcri%20e%20process.pdf>

<www.icb.ufam.edu.br/LABS/livro/capitulo1.doc>

<www.dbbm.fiocruz.br/helpdesk/mbiology/codonusage.pdf>.

O capítulo apresenta noções de probabilidade que podem ser trabalhadas em conjunto com o professor de Matemática. O conhecimento prévio do aluno pode ser aferido por meio de questões práticas, como: “Em um lançamento de moeda, qual a probabilidade de sair cara?”; “Qual a probabilidade de sair o número seis em um lançamento de dados?”; “Qual a probabilidade de saírem duas caras em dois lançamentos de moeda?”.

A **Atividade prática** ao final do capítulo facilita a compreensão do aluno para um ponto importante: a diferença entre a proporção esperada (probabilidade) e a proporção obtida em um cruzamento. Nessa atividade, preferimos utilizar um sorteio de peças em vez do lançamento de moeda. Primeiro, porque fica mais fácil para o aluno relacionar o sorteio das peças com as possíveis fecundações. Segundo, porque dificilmente as moedas têm uma distribuição idêntica de peso entre as duas faces, de modo que uma delas pode ter uma probabilidade maior de cair para baixo. Esse desvio pode ser significativo, caso a moeda seja colocada para rodar sobre a mesa, como demonstra Robert Ehrlich no livro *Why Toast Land Jelly-Side Down: Zen and the Art of Physics Demonstrations* (Princeton, 1997, p. 72-73).

Se, mesmo assim, o professor quiser realizar esse experimento usando o lançamento de moeda, ele deve pedir aos alunos que segurem duas moedas de valores diferentes (cada face representa um alelo) nas mãos em concha, sacudam as mãos, e lancem as moedas para cima. Nesse caso, a grande variação na força, altura, ângulo com que são lançadas e outras variáveis acabam anulando a diferença de peso e o resultado se aproxima mais de um resultado aleatório.

O professor pode, ainda, se valer da alternativa de *site*s da internet com simuladores de lançamentos aleatórios de moeda, como o *site*: <http://nlvm.usu.edu/en/nav/frames_asid_305_g_3_t_5.html> (em inglês; acesso em: 6 abr. 2016).

Essa atividade pode ser realizada com o professor de Matemática, que poderá aprofundar o conceito de probabilidade e apresentar mais exemplos práticos.

Não consideramos adequado explicar, no nível do Ensino Médio, os testes estatísticos (como o do qui-quadrado) que avaliam os desvios entre a proporção esperada e a obtida. No entanto, o professor pode consultar, além de livros de Estatística, os livros e o *site* relacionados abaixo:

GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013, p. 39-41.

SNUSTAD, D. P. ; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013, p. 53-54.

<www.ufv.br/dbg/gbolhtm/gbol23.htm> (acesso em: 6 abr. 2016).

O texto a seguir também pode ser apresentado como forma de ajudar o aluno a perceber a importância da Estatística para a genética e para outras áreas da Ciência e da tecnologia.

A importância da Estatística

Se uma moeda for jogada três vezes seguidas e o resultado for sempre cara, isso não é motivo forte para desconfiar de que ela esteja "viciada", ou seja, de que tenha havido algum tipo de manipulação. A probabilidade de o resultado ser cara em três lançamentos consecutivos é $(1/2)^3 = 1/8$, o que não é difícil de acontecer. Mas, se o resultado for cara 20 vezes seguidas, teremos uma forte desconfiança de que houve algum truque (a moeda pode ter um lado mais pesado que outro), pois a probabilidade de isso ocorrer é $(1/2)^{20}$, ou seja, uma vez em 1 048 576 vezes, o que é um acontecimento bastante improvável para uma moeda não "viciada".

Assim, podemos compreender por que foi importante que Mendel tivesse trabalhado com grande número de descendentes em cada cruzamento: se suas leis estivessem corretas, os resultados obtidos deveriam estar bem próximos do resultado esperado.

Também podemos compreender porque em ciência é importante usar testes estatísticos e trabalhar, sempre que possível, com grande número de casos. Por exemplo, um teste para comprovar a eficácia de um medicamento feito com apenas 20 pessoas não tem a mesma validade que outro feito com centenas de pessoas. Quanto maior o tamanho da amostra, maior a confiabilidade do teste. No entanto, do ponto de vista prático, isso implica maior gasto de tempo e recursos, que poderiam ser utilizados em outras pesquisas. Essas e outras condições impõem, portanto, um limite ao aumento progressivo da amostra ou à repetição do teste.

O livro *O desenvolvimento do pensamento biológico:* diversidade, evolução e herança (Brasília: UnB, 1998), de Ernst Mayr, discute vários aspectos históricos do trabalho de Mendel.

Os trabalhos de Mendel estão disponíveis no *site*: <www.mendelweb.org/MWpaptoc.html> (em inglês; acesso em: 6 abr. 2016).

Entre os endereços na internet com informações em português sobre genética, podemos citar (acessos em: 6 abr. 2016): <www.educacaopublica.rj.gov.br/oficinas/ed_ciencias/genetica/arqs/apostila_biomol.pdf> e <www.ufv.br/dbg/gbolhtm/gbol0.HTM>.

O boxe *Biologia e saúde* (p. 26) sobre aconselhamento genético trata de um tema importante na atualidade, já que com os novos testes genéticos esse procedimento tende a ser cada vez mais comum.

No início do capítulo, são comentadas algumas concepções sobre hereditariedade que se mantiveram por quase todo o século XIX, como foi o caso da teoria da herança misturada. O professor pode pedir, então, ao final do estudo do capítulo, uma pesquisa sobre

essas concepções e, em conjunto com o professor de Filosofia, pode organizar uma discussão sobre como as teorias científicas se modificam ao longo do tempo.

CAPÍTULO 2: Segunda lei de Mendel

Depois de apresentar os resultados do experimento de di-hibridismo e a segunda lei de Mendel, o professor pode mostrar um esquema simplificado da meiose de uma célula com dois pares de cromossomos homólogos, simbolizando com letras os pares de alelos e indicando as duas arrumações possíveis para os pares de cromossomos homólogos. Depois, pode propor que os alunos expliquem o resultado obtido no cruzamento de dois di-híbridos.

Outra opção é realizar a atividade prática sugerida na página 316 deste Manual, utilizando modelos com dois pares de bastões de madeira, massa de modelar ou outros materiais para representar a disposição e distribuição dos cromossomos e dos alelos na meiose. Um modelo com três pares de bastões pode ser usado para facilitar a compreensão da formação dos gametas no caso de tri-hibridismo.

O professor pode lançar ao final do estudo da meiose uma questão-desafio para os alunos, orientando-os a consultar o professor de Matemática para resolvê-la:

"Sabendo que a espécie humana tem 23 pares de cromossomos, qual a probabilidade de um espermatozoide conter apenas os cromossomos de origem paterna?" (A resposta é $1/2^{23}$).

A primeira questão da seção **Atividades** avalia se os estudantes aprenderam a fazer a conexão entre os conceitos de Mendel e os conceitos da genética atual. Já a questão 3 relaciona o que o aluno aprendeu sobre di-hibridismo com as técnicas de cruzamento seletivo em agricultura, levando-o a aplicar o conhecimento para uma situação nova e também exemplificando aplicações tecnológicas da genética.

O texto a seguir, que trata da influência genética em relação ao caráter canhoto e destro, também pode ajudar o aluno a compreender a interação entre os genes e os fatores ambientais.

Canhoto ou destro

De 10% a 12% das pessoas são canhotas. Ainda não se sabe que fatores atuam nessa preferência. Pode haver uma influência genética. Um modelo hipotético atribui a um alelo, que podemos chamar de **C**, a preferência para o uso da mão direita e a seu alelo **c** a preferência pela esquerda. O alelo **C** é mais frequente na população.

Indivíduos **CC** seriam quase sempre destros; indivíduos **Cc** seriam também, na maioria, destros. Os indivíduos **cc** teriam 50% de chance de serem destros e 50% de chance de serem canhotos, dependendo do estímulo para o uso de uma das mãos na educação.

Essa preferência seria um comportamento parcialmente aprendido, o que explicaria a discordância de cerca de 18% em gêmeos idênticos nessa preferência. Há ainda os que acham que influências na vida embrionária, como taxa de hormônios, também têm algum efeito nessa característica.

Portanto, nesse caso, como em muitos outros, influências genéticas e ambientais (incluindo as culturais) podem interagir no efeito final.

Os alunos devem compreender as duas maneiras de resolver problemas de di-hibridismo. No caso de tri-hibridismo e de poli-hibridismo em geral, o processo de calcular separadamente cada característica e depois combinar os resultados dessas características pode tornar o processo muito mais fácil. Para que os alunos percebam isso, o professor pode lançar aqui um desafio: "Qual a probabilidade de aparecer uma ervilha amarela (**VV** ou **Vv**), rugosa (**rr**), de flor terminal (**tt**) e alta (**BB** ou **Bb**) no seguinte cruzamento: **VvRrTtbb** × **VvrrTtBb**?" (a resposta é 3/64, resultado do produto $3/4 \times 1/2 \times 1/4 \times 1/2$).

O boxe *História da ciência* (p. 37), ao apontar alguns motivos pelos quais o trabalho de Mendel permaneceu esquecido por tantos anos, ajuda o aluno a compreender que a aceitação de teorias pela comunidade científica não é imune a fatores sociais. Ou seja, a ciência está imersa em contextos históricos, e os cientistas, como quaisquer outras pessoas, são influenciados por esses fatores. Esse tópico pode ser trabalhado em conjunto com os professores de História e de Filosofia.

Convém chamar a atenção dos alunos para o fato de que a segregação independente não vale apenas para ervilhas, mas para muitas outras características

em vários organismos, incluindo a espécie humana. Mas o professor pode antecipar aqui que há uma restrição importante: a segunda lei de Mendel não vale para genes situados no mesmo cromossomo (esses casos serão estudados no Capítulo 5), mas sim para pares de alelos em cromossomos diferentes.

CAPÍTULO 3: Grupos sanguíneos e polialelia

Deve ficar claro para o aluno que cada indivíduo possui apenas um par de cada tipo de cromossomos homólogos e, consequentemente, um par de alelos para cada característica. Por isso, a resolução de problemas que envolvem a polialelia torna-se um procedimento semelhante aos que ele aprendeu para o monoibridismo.

Para facilitar a compreensão desse ponto, o professor pode, depois de apresentar os quatro alelos que atuam na cor da pelagem de coelhos, perguntar aos alunos quantos desses alelos cada coelho tem. Se alguns não acertarem a resposta, é possível fazer um esquema simplificado de um par de cromossomos homólogos, indicar os dois *loci* onde os alelos devem ficar e pedir aos alunos que indiquem as várias combinações possíveis dos quatro alelos. Se achar conveniente, o professor pode optar por trabalhar esse capítulo antes do capítulo de di-hibridismo.

Como nos outros capítulos, as perguntas que aparecem logo após a abertura ajudam a descobrir o conhecimento prévio do aluno a respeito dos principais tópicos do capítulo, chamando a atenção para um caso importante de polialelia na espécie humana: o sistema ABO de grupos sanguíneos, cuja descoberta é relatada no boxe *História da ciência* (p. 47). O texto inicial chama a atenção também sobre a importância da doação de sangue, tema que contribui para que o aluno desenvolva sua cidadania.

O texto a seguir correlaciona a ocorrência de acidentes de trânsito à demanda por transfusão e, consequentemente, por doação de sangue.

Acidentes de trânsito e transfusão de sangue

A transfusão de sangue é necessária geralmente durante cirurgias, ou quando o paciente perde muito sangue por outros motivos, como acidentes de trânsito. E há dois aspectos importantes nessa questão.

Primeiro, uma questão de segurança: o uso de cinto de segurança reduz a chance de lesões e morte num acidente de trânsito, uma vez que quando um veículo freia de repente, as pessoas que estão nele tendem a ser projetadas para a frente (de acordo com a lei da inércia, estudada em Física). Daí a necessidade de ações educativas e de fiscalização para diminuir as mortes e lesões no trânsito.

Outro ponto importante é que o sangue guardado em hospitais e bancos de sangue dura pouco mais de quarenta dias. Por isso, é preciso conscientizar a população da necessidade de doar sangue. Doar sangue é um ato de solidariedade que salva vidas!

Antes de estudar os grupos sanguíneos, o professor pode fazer uma breve revisão dos conceitos de antígenos e anticorpos, vistos no primeiro Volume desta Coleção, ou pedir uma atividade em grupo sobre esse tópico.

A segunda questão de **Atividades** faz uma conexão da polialelia com a mutação e da herança envolvida na polialelia com as leis de Mendel.

O professor pode começar a explicar a herança do sistema ABO propondo o seguinte problema: quais os grupos sanguíneos formados a partir dos três alelos $\mathbf{I^A}$, $\mathbf{I^B}$ e **i**, de modo que $\mathbf{I^A}$ e $\mathbf{I^B}$ sejam codominantes, sintetizem proteínas que podemos chamar de **A** e **B** (e, por sua vez, dão nome aos grupos), e, ainda, que o alelo **i** seja recessivo em relação aos outros dois?

É interessante chamar a atenção do aluno para a observação de que, apesar das expressões "doador universal" e "receptor universal", na prática, as transfusões são feitas sempre dentro do mesmo grupo. O professor deve chamar a atenção também para o fato de que nos exames dos grupos sanguíneos tem-se apenas, em certos casos, uma exclusão de paternidade – como explicado no exercício resolvido de número 2 (p. 48). Nesse exercício, é mencionado que no teste de DNA a paternidade pode ser decidida com altíssimo grau de probabilidade, uma técnica que será discutida no Capítulo 7. O texto a seguir trabalha um pouco mais a relação entre grupos sanguíneos e a exclusão de paternidade.

Grupos sanguíneos e exclusão de paternidade

Os cruzamentos relativos ao sistema sanguíneo ABO são de monoibridismo, pois, apesar de estarem em jogo três alelos, cada indivíduo só apresenta um par de cromossomos homólogos portadores desses alelos. Veja os tipos de fecundação e os possíveis genótipos e fenótipos na tabela a seguir.

Alelos dos pais	A	B	O	
A	AA (A)	AB (AB)	AO (A)	← genótipo do filho ← fenótipo
B	AB (AB)	BB (B)	BO (B)	← genótipo do filho ← fenótipo
O	AO (A)	BO (B)	OO (O)	← genótipo do filho ← fenótipo

Com a análise dos grupos sanguíneos é possível esclarecer casos de paternidade duvidosa ou de trocas de bebês em maternidade. Dependendo das circunstâncias, é possível provar que determinado indivíduo não pode ser o pai de uma criança. Entretanto, apenas pelos grupos sanguíneos do sistema ABO nunca se pode provar que um homem é de fato o pai de uma criança, mesmo que seja.

É importante que o aluno tente resolver questões que combinem polialelia e di-hibridismo, como é o caso da questão 9 de **Atividades**, permitindo assim que ele aplique o que aprendeu em diferentes contextos.

Com relação às transfusões de sangue e as restrições relacionadas aos tipos sanguíneos, o texto a seguir apresenta uma descoberta interessante.

Sangue modificado

Um grupo de pesquisadores liderados por Henrik Clausen, da Universidade de Copenhague, vem desenvolvendo uma forma de transformar em sangue do tipo **O** hemácias que continham os aglutinogênios **A** e **B**, sem danificar essas células. Para isso, utilizaram enzimas de bactérias que removem esses aglutinogênios da superfície das hemácias.

O processo ainda terá de passar por testes clínicos para que possa ser usado para a produção de hemácias universais, reduzindo os problemas de carência de sangue em caso de transfusões de emergência.

CAPÍTULO 4: Interação gênica e pleiotropia

Como estratégia inicial, o professor pode apresentar o resultado do cruzamento de duas galinhas de crista noz e duplo-heterozigotas, como está descrito nas páginas 58 e 59, perguntando, então, como os alunos explicam esse resultado. Não se deve esperar que eles resolvam esse problema imediatamente, mas sim que sua curiosidade seja despertada. Ao longo do capítulo, eles se tornarão capazes de resolver esse problema.

Ao estudar a interação gênica, o aluno pode se questionar sobre a validade das leis de Mendel. O professor pode aproveitar esse capítulo para mostrar que elas devem ser compreendidas como um modelo aproximado de uma situação mais complexa. Na realidade, na maioria das características deve haver influência de mais de um par de alelos.

O aluno deve entender que o fato de as leis não explicarem tudo não tira o mérito do trabalho de Mendel. Em ciência, com frequência construímos modelos simplificados dos fenômenos e, à medida que aprendemos mais, corrigimos esses modelos tornando-os mais próximos dos fenômenos estudados.

Essa observação vale para as classificações usadas em interação gênica (interações epistáticas, não epistáticas, etc.): nelas também usamos modelos para representar uma situação mais complexa. À medida que conhecemos melhor as etapas bioquímicas que levam à produção de uma característica, podemos nos aproximar mais do que realmente acontece em cada interação. Pode-se chamar a atenção para o exemplo da cor do pelo em camundongos (p. 59 e 60), em que é feita uma conexão com a interpretação molecular em genética.

É importante mostrar ao aluno que os problemas de interação são resolvidos de forma semelhante aos de di ou tri-hibridismo. A diferença é que, uma vez

descobertos os genótipos por cruzamentos que seguem a segunda lei de Mendel, é preciso achar as proporções fenotípicas considerando as condições de interação que o problema apresenta. O aluno não precisa decorar os tipos de interação: o enunciado do problema deve dar elementos para que seja possível identificá-los.

Um exemplo de pesquisa relacionada à história da descoberta das interações gênicas e heranças quantitativas é apresentado no texto a seguir.

A cor da semente de trigo

Logo após a redescoberta do trabalho de Mendel, muitos pesquisadores se questionaram se as características com variação contínua, como altura, peso, etc., seriam herdadas da mesma forma que as características estudadas por Mendel.

Em 1910, o geneticista sueco Herman Nilsson-Ehle (1873-1949) estudou uma dessas características, a herança da cor da semente de trigo, e demonstrou que ela segue as leis de Mendel.

Ao cruzar trigo de semente vermelho-escura com trigo de semente branca, obteve descendentes com cor intermediária entre esses dois extremos. A segunda geração filial ($\mathbf{F_2}$), resultante do cruzamento entre dois indivíduos da primeira geração filial, apresentava sementes cuja cor variava de forma contínua do vermelho-escuro ao branco. Notou ainda que nessa $\mathbf{F_2}$ os indivíduos idênticos aos do início do cruzamento – com sementes de cores vermelho-escura e branca – apareciam na proporção 1/64.

O denominador 64 na proporção da $\mathbf{F_2}$ indicava que ocorreram 64 combinações entre gametas produzidos por indivíduos de $\mathbf{F_1}$. A partir daí, ele concluiu que cada um dos indivíduos de $\mathbf{F_1}$ produziu oito tipos de gametas; portanto, esses indivíduos deviam ser heterozigotos para três pares de alelos.

Ele explicou a variação contínua no fenótipo desses 64 indivíduos de $\mathbf{F_2}$ pelo fato de que a cor da semente seria condicionada por três genes, cada um com dois alelos, de segregação independente. Os alelos representados por letras maiúsculas (**A**, **B**, **C**) contribuiriam para a produção de um pigmento vermelho e somariam seus efeitos, de tal forma que o indivíduo **AABBCC** possuiria seis doses do pigmento e sua semente seria vermelho-escura. Os alelos **a**, **b** e **c** não contribuiriam para formar o pigmento e, portanto, o indivíduo **aabbcc** teria semente branca.

Então, a quantidade de pigmento dependeria da quantidade de alelos **A**, **B** e **C** presentes no genótipo. Assim, os indivíduos **AaBbCc**, **AAbbCc** e **aaBBCc**, por exemplo, teriam a mesma quantidade de pigmento – uma média entre o vermelho e o branco. A proporção genotípica em $\mathbf{F_2}$, resultante do cruzamento de dois heterozigotos, seria a mesma de um tri-hibridismo e a proporção fenotípica em $\mathbf{F_2}$ seria 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1.

A herança da cor dos olhos, comentada no boxe *Biologia e cotidiano* (p. 61), costuma despertar a curiosidade do aluno. É importante o professor mostrar que, ao contrário do que muitas pessoas podem pensar, não se trata de uma herança monogênica. Também é importante diferenciar essa herança do albinismo, em que faltam alelos para a produção de melanina. Por isso, no albinismo não há melanina na íris. A falta de pigmento em indivíduos albinos faz com que a luz seja refletida pelos vasos sanguíneos no fundo do olho, o que faz aparecer um tom rosado. Nas pessoas não albinas há sempre pigmento na camada profunda; o que varia é a quantidade de pigmento na camada superficial da íris.

O exemplo da herança da cor da pele pode ser útil para o professor mostrar que os modelos utilizados em ciência são sempre construções hipotéticas simplificadas e parciais da realidade. Serve também para mostrar que em ciência existem problemas não resolvidos, como é o caso do número de genes que atuam nessa característica. O boxe *Biologia e sociedade* (p. 63 a 65) discute a herança cultural africana no Brasil, enfatizando a importância da valorização de diferentes culturas.

É importante lembrar que mesmo uma característica como a altura humana não é 100% determinada geneticamente. Nesse caso, já foram identificados 12 *loci* que atuam nessa característica. Um dos genes atuantes e recentemente identificado no cromossomo 12 foi chamado de HMGA2 (do inglês, *high mobility group AT-hook 2*).

Para mais informações, veja os artigos abaixo (em inglês):

LETTRE, G. et. al. Identification of ten *loci* associated with height highlights new biological pathways in human growth. Nova York: *Nature Genetics*, 40, p. 584--591, 2008.

WEEDON, M. N. et. al. A common variant of HMGA2 is associated with adult and childhood height in the general population. Nova York: *Nature Genetics*, 39, p. 1245-1250, 2007.

Outra característica influenciada por diversos genes é a audição humana. Porém a deficiência auditiva não tem origem apenas genética e pode ser causada por fatores ambientais, como descrito no texto a seguir.

Causas da surdez

A surdez de origem ambiental – cerca de 25% dos casos – pode ser causada por exposição a ruído intenso por tempo prolongado, por acidentes e por infecções, mesmo algumas infecções que ocorrem ainda na vida intrauterina, como no caso de a mãe contrair o vírus da rubéola na gravidez.

Na surdez de origem genética – cerca de 75% dos casos – estão envolvidos vários tipos de herança: dominante, recessiva, autossômica e ligada ao sexo (genes no cromossomo sexual X). Como muitos genes contribuem para o desenvolvimento normal da audição humana, é de esperar que uma mutação em qualquer desses genes possa levar a uma deficiência auditiva.

Já foram identificadas mutações genéticas que afetam a mobilidade do osso estribo na orelha média, que afetam a síntese das proteínas contráteis dos cílios, presentes nas células da orelha interna, e na proteína da membrana que transporta o potássio para essas células.

É importante neste capítulo que o professor esclareça ao aluno que ele não precisa decorar os casos particulares de interação gênica. O que ele tem de fazer é aplicar as leis de mono e di-hibridismo para a situação específica que determinado problema vai colocar. Para isso, o aluno deve ser incentivado a resolver questões com outras situações de interação que não foram descritas no texto. Isso acontece em várias questões da seção **Atividades**.

CAPÍTULO 5: Ligação gênica

As perguntas do início do capítulo ajudam a mensurar o conhecimento prévio do aluno a respeito do conteúdo que será estudado. Os alunos já sabem que a interação gênica pode modificar as proporções mendelianas do di-hibridismo. Ao estudar a ligação, eles verão mais um caso em que essa proporção se modifica e também que as leis de Mendel não valem quando dois ou mais genes estão ligados, isto é, situados no mesmo cromossomo.

O professor pode começar mostrando um par de genes no mesmo cromossomo e perguntar se esses dois genes obedecem às leis de Mendel. Para facilitar o raciocínio, pode pedir aos alunos que desenhem uma meiose com os alelos desses dois genes e perguntar se eles se separam de forma independente, isto é, se os genes situados no mesmo cromossomo podem ir para polos diferentes da célula. Se os alunos não se lembrarem da permutação ou não a conhecerem, eles podem achar que os genes no mesmo cromossomo vão sempre para o mesmo polo. Nesse momento, o professor pode relembrar ou explicar a permutação, mostrando um caso em que esse fenômeno acontece entre os genes em questão. Assim, os alunos poderão perceber que, mesmo quando dois genes estão no mesmo cromossomo, pode haver produção de quatro tipos de gametas se a permutação ocorrer em algum ponto do cromossomo situado entre os dois genes em questão.

Alguns alunos podem achar que não há diferença entre essa situação e o di-hibridismo mendeliano. É preciso mostrar que isso seria verdadeiro apenas se ocorresse sempre, em todas as células, permutação entre os dois genes em questão. Esse é o momento de explicar que a permutação é um fenômeno aleatório e que, quanto maior a distância dois genes, maior a chance de que ela ocorra entre eles.

Com o conceito de taxa de permutação, os alunos poderão perceber por que as proporções mendelianas do di-hibridismo estão alteradas quando há ligação entre os genes. Ao explicar que a determinação da taxa de *crossing* (permutação) é importante para mapear os genes nos cromossomos, é interessante lembrar que, com as técnicas atuais de engenharia genética, os genes podem ser mapeados e sequenciados, o que vem se tornando cada vez mais

importante para a identificação de doenças hereditárias na espécie humana.

Os alunos devem compreender que a segunda lei de Mendel continua valendo quando os genes estão localizados em cromossomos diferentes, que se separam independentemente. Eles devem perceber ainda que, se os genes situados em um mesmo cromossomo estiverem muito afastados, a proporção dos gametas produzidos por um duplo heterozigoto se aproxima da proporção esperada na segregação independente. O boxe *História da ciência* (p. 78) discute a hipótese de Mendel ter encontrado, mesmo em relação a certos pares de genes situados no mesmo cromossomo, mas distantes entre si, uma proporção próxima à esperada por sua lei de segregação independente.

Outra opção é apresentar ao aluno a figura 5.12 do boxe e perguntar qual a combinação de características que, embora condicionada por genes localizados no mesmo cromossomo, não deve ter se afastado da proporção mendeliana de 9 : 3 : 3 : 1 em $\mathbf{F_2}$. A partir daí, pode-se pedir aos alunos a leitura e discussão do texto, que pode também desencadear uma discussão que envolve História e Filosofia da Ciência.

CAPÍTULO 6: Sexo e herança genética

O texto e as questões que abrem o capítulo permitem avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre o tópico a ser estudado. Mas o professor pode se valer da questão 3 de **Atividades** para gerar curiosidade e motivar o aluno para o estudo da herança ligada ao sexo.

Apesar de os sistemas de determinação do sexo biológico em vários animais terem sido apresentados no primeiro Volume desta Coleção (na Unidade sobre reprodução, desenvolvimento e tecidos), esse tópico é revisto no início deste capítulo, já que esse assunto precisa ficar bem compreendido para que o aluno possa entender a herança ligada ao sexo.

Um fator importante na determinação do sexo biológico são as alterações genéticas, que podem fazer com que os receptores para os hormônios sexuais, entre outros, estejam ausentes nas células dos tecidos-alvo. Como exemplo, podemos citar as alterações hormonais provocadas por fatores ambientais na vida intrauterina.

O professor pode explicar que a proporção de zigotos formados na espécie humana é, na realidade, em torno de 1,3 XY para 1 XX. No entanto, embriões XY têm viabilidade menor e, no nascimento, essa proporção diminui para 1,07 : 1. Na puberdade, a proporção de indivíduos XY e XX torna-se ainda mais próxima de 1 : 1 (SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, p. 90-91).

Ao chegarem a esse capítulo, os alunos já devem dominar bem o funcionamento da meiose e a consequente formação de gametas com separação de homólogos e alelos. Por isso, o professor pode começar explicando que os cromossomos X e Y se separam na meiose; que há alelos, como o do daltonismo e a hemofilia, que são exclusivos do cromossomo X e recessivos. A partir dessas informações, ele pode pedir que os alunos descubram como poderão ser os filhos de uma mulher não daltônica, mas portadora do alelo para o daltonismo, com um homem não daltônico. Se quiser, ele pode acrescentar que a notação nesse caso é feita colocando-se a letra representativa do alelo à direita e acima das letras X e Y (que representam cromossomos sexuais), da seguinte maneira: X^HY^h, X^hX^h.

O boxe *História da ciência* (p. 84) apresenta como o geneticista Thomas Morgan notou que a herança e expressão de algumas características estariam relacionadas ao sexo dos indivíduos. As informações contidas nesse texto reforçam a importância de trabalhos científicos na construção do conhecimento.

Como a segunda pesquisa da seção **Trabalho em equipe** envolve questões éticas, é interessante que, se possível, seja trabalhada em conjunto com o professor de Filosofia.

CAPÍTULO 7: As aplicações da genética molecular

Para apresentar o tema desse capítulo, o professor pode explicar ao aluno que hoje em dia as pessoas com diabetes têm a opção de tomar uma insulina exatamente igual à humana, produzida por bactérias, e perguntar como uma bactéria é capaz de produzir uma insulina idêntica à humana se, na natureza, as bactérias não têm genes que produzam esse hormônio.

O professor deve chamar a atenção do aluno para o fato de que algumas tecnologias apresentadas neste capítulo são relativamente recentes e, por isso, ainda

estão em fase experimental. A terapia gênica, por exemplo, vem colhendo alguns casos de sucesso, mas também alguns fracassos. Em certos casos, alguns pacientes apresentaram melhoras e até ficaram curados. Em outros, a terapia não obteve bons resultados. Há vários desafios a serem vencidos: é preciso, por exemplo, que as células reprogramadas durem o tempo suficiente para uma longa série de aplicações, mas isso pode ativar a resposta imune contra a nova célula. O vírus usado como vetor pode causar resposta inflamatória ou provocar doenças. Não podemos esquecer também que muitas doenças genéticas são provocadas pela interação de vários genes, tornando difícil a terapia gênica.

O professor pode se valer da questão a seguir para fazer uma conexão entre o tópico desse capítulo e o desenvolvimento embrionário humano (estudado no Volume 1 desta Coleção): "Dois irmãos podem ser identificados pela técnica de impressão digital genética (DNA *fingerprint*)? E dois gêmeos univitelinos? Justifique sua resposta.".

Se o professor achar conveniente, pode apresentar também a questão a seguir, que permite avaliar também o conhecimento prévio do aluno sobre o tema da próxima Unidade (Evolução): "Em um experimento de terapia gênica, genes responsáveis pela produção de um fator de coagulação foram introduzidos em células do fígado de portadores de hemofilia. Se o experimento funcionar, os filhos de um casal de hemofílicos submetidos a esse tratamento poderão nascer sem o problema?".

O boxe *História da ciência* (p. 97) discute a descoberta das enzimas de restrição, ajudando o aluno a compreender a interação entre ciência e tecnologia e o caráter coletivo do progresso do conhecimento científico. A partir daí pode ser feito um trabalho em conjunto com professores de Ciências da Natureza, Sociologia e Filosofia, ampliando esse exemplo para outros tópicos científicos. O conteúdo desse capítulo ilustra também a relação entre a ciência e a tecnologia e a conexão entre a Biologia, a Química e a Física, fundamentais para o desenvolvimento dos aparelhos e técnicas utilizadas na genética molecular.

Pode ser pedida uma pesquisa sobre algumas doenças genéticas (suas principais características, se são causadas por alelos dominantes ou recessivos, etc.), como: fibrose cística, acondroplasia, doença de Huntington, galactosemia, doença de Tay-Sachs. Pode ser solicitada ainda uma pesquisa sobre o teste do pezinho. Veja um resumo deste teste no texto abaixo.

Teste do pezinho

Obrigatório por lei e realizado gratuitamente nos serviços públicos de saúde nos primeiros quinze dias de vida, o teste do pezinho consiste em retirar gotas de sangue do calcanhar e analisá-las em laboratório para detectar doenças que possam comprometer o desenvolvimento físico e mental da criança, como fenilcetonúria, fibrose cística, anemia falciforme e hipotireoidismo congênito (defeito em que a glândula tireóidea produz poucos hormônios, o que leva a vários graus de deficiência física e mental se não for tratado logo).

Uma versão ampliada do teste, que detecta mais doenças, pode ser feita também em laboratórios particulares.

Se aparecer algum problema, os pais devem procurar logo o médico, uma vez que o tratamento precoce é importante para resolver o problema ou melhorar a qualidade de vida da criança.

Nesse capítulo discutimos as plantas transgênicas, que constituem um assunto polêmico. Incentive os alunos a se expressarem, a concatenarem suas ideias sobre os assuntos e a expor argumentos. O professor deve deixar claro que em um assunto polêmico como esse as opiniões divergentes devem ser respeitadas: a crítica deve ser feita aos argumentos e evidências e não às pessoas que os emitem.

A pesquisa de número 1 de **Trabalho em equipe** tem o objetivo de manter os alunos atualizados sobre testes genéticos e terapias gênicas, além de estimular a preocupação do aluno com as relações entre esses testes e as questões sociais e éticas, que podem ser debatidas em conjunto com professores de Filosofia. Para isso, podem ser consultados os seguintes *sites* (acessos em: 7 abr. 2016):
<http://genoma.ib.usp.br/?page_id=50>
<www.unicamp.br/cipoi/tr/acongene.htm>.

Essa proposta de pesquisa solicita a presença de profissionais das áreas para a apresentação de palestras para a comunidade escolar, além de visitas, se possível, a instituições que trabalhem nessas áreas. A presença de profissionais dessas áreas é importante para manter a comunidade escolar a par de assuntos tão relevantes e em rápida transformação.

O professor pode pedir ainda uma pesquisa em grupo sobre a importância da genética para a medicina e para a agricultura. Após a pesquisa, o grupo deve apresentar sua opinião sobre a importância das pesquisas em genética para a sociedade.

O professor pode sugerir que os alunos assistam ao filme *Gattaca: a experiência genética* (*Gattaca*, de Andrew Niccol, Estados Unidos, 1997, 106 min. Classificação indicativa: 14 anos) e, depois, lançar questões sobre ele e promover debates. Veja a seguir alguns tópicos e questões do filme que podem ser abordados.

O filme leva-nos a pensar sobre as implicações éticas da engenharia genética e o potencial que essa tecnologia tem para alterar a natureza e o próprio ser humano. Ele se passa em um futuro, talvez bem próximo, em que as técnicas de engenharia genética seriam capazes de orientar a produção de filhos "perfeitos". No entanto, alguns casais ainda seguem o "método tradicional" e deixam que as leis da meiose e da fecundação, ao acaso, gerem seus filhos. É assim que nasce o personagem principal, Vincent (uma provável alusão a "vencedor").

Vincent trabalha em uma empresa de voos espaciais, GATTACA. Essas letras representam as bases nitrogenadas do DNA e são semelhantes a um trecho do DNA cortado por um tipo de enzima de restrição, que são as enzimas fundamentais para a engenharia genética.

Esse personagem está determinado a fazer parte de uma equipe em um voo para Titã, uma lua de Saturno. Mas, para isso, tem de esconder sua "identidade genética", pois possui um problema cardíaco sério, que provocará sua morte por volta dos trinta anos. Vincent esconde esse problema apresentando nos exames amostras do sangue e da urina de Jerome, um indivíduo geneticamente "perfeito" que, por acidente, ficou paraplégico.

Várias questões podem ser levantadas a partir do filme. Já dispomos de testes genéticos capazes de prever a chance de certas doenças graves se manifestarem. No futuro, pode ser possível usar a engenharia genética para prevenir o aparecimento de certas doenças e "escolher" filhos sem determinadas doenças. Isso já pode ser feito em relação às doenças recessivas ligadas ao cromossomo X. Nesse caso, são usadas técnicas de reprodução assistida para implantar apenas embriões femininos e heterozigotos para a doença. Mas será que esses procedimentos ficarão restritos às doenças ou as pessoas poderão se achar no direito de escolher algumas características de seus filhos, como a cor dos olhos ou o nível de inteligência? Será que haverá, então, uma divisão entre os que poderão pagar por esses testes e, em alguns casos, por sua cura e os que não poderão? Nesse caso, haveria o risco de discriminação baseada no código genético de cada um. Empresas e companhias de seguro têm direito de realizar testes genéticos em seus funcionários ou em candidatos a um emprego para detectar doenças que poderão se desenvolver no futuro? As questões não param: é desejável uma sociedade que controla e determina o que cada um deve querer ou pode realizar? Quem decide esse controle?

É justo discriminar e cortar o acesso ao que uma pessoa quer a partir de "imperfeições" genéticas, como ocorre com Vincent, em oposição a seu irmão perfeito (Anton), que, por isso, tem todas as chances? Qual o critério de perfeição? Imperfeito é aquele que é "diferente"? Aliás, no filme aparece um pianista de seis dedos em cada mão, capaz de tocar uma peça especialmente criada para ele. Os seis dedos representam uma "imperfeição"?

Será que alguém, para ser feliz, tem de ser "perfeito"? No filme, descobrimos que Jerome Eugene (*eugene*, em grego, significa "bons genes") ficou paraplégico ao tentar se matar por não ter vencido um concurso. Afinal, ele tinha a convicção de que deveria ser o primeiro em tudo.

O filme dá a entender também que, apesar de suas imperfeições, Vincent tem uma determinação que lhe permite vencer suas limitações, de ir para o espaço (talvez uma metáfora para a capacidade de escapar do peso do corpo, isto é, de suas deficiências genéticas) e até de vencer seu irmão mais "perfeito" em uma aposta de natação. A força de Vincent viria de uma capacidade de livre-arbítrio, capaz de modificar seu "destino genético". Genes, afinal, não são destino, mas propensões. Isso quer dizer que os genes são um dos fatores que influem em nossas características. Não podemos esquecer que o ambiente – em sentido amplo, o que inclui a cultura e os fatores psicossociais – também deve ser considerado. Além disso, o fato de que podemos prever as consequências de nossas ações – até mesmo em um futuro distante – aumenta nosso poder de modificar nosso comportamento.

O filme complementa os boxes *Biologia e sociedade* (p. 101), que aborda a relação entre genes e comportamento, e *Biologia e ética* (p. 105), que, assim como o **Trabalho em equipe**, trata de problemas éticos nos testes genéticos. Além dos livros sugeridos nas sugestões de leitura deste Manual, podem ser consultados ainda os *sites* abaixo (acessos em: 7 abr. 2016):

<http://www5.usp.br/tag/bioetica/>

<http://revistabioetica.cfm.org.br/index.php/revista_bioetica>

<www.ufrgs.br/bioetica/>

<www.sbbioetica.org.br/>

<www.bioetica.org.br/>

<www.comciencia.br/noticias/2005/10/noticia_IBM_18out05.pdf>.

O texto abaixo traz informações sobre o Projeto Genoma Humano, que decodificou a sequência de bases dos genes humanos.

Projeto Genoma Humano

Em abril de 2003 foi estabelecida a sequência de bases de 99,99% dos cerca de 3,3 bilhões de pares de nucleotídeos que compõem os genes humanos (escrita com letras do tamanho das desta página, a sequência de bases do genoma humano ocuparia mais de 1 500 volumes iguais a este livro).

O genoma de outros organismos, como ratos, bactérias e plantas, também vem sendo sequenciado. Esses estudos nos permitem compreender não apenas a fisiologia desses organismos, mas também a nossa, visto que compartilhamos muitos de nossos genes com outros organismos.

O grande desafio da chamada "era genômica" é a determinação da coleção de proteínas expressas pelo genoma, em momentos específicos, na célula. O estudo do proteoma, como é chamado, se põe como uma continuação do Projeto Genoma. Após a determinação da sequência de bases nitrogenadas pelo Projeto Genoma, o projeto do proteoma se dedicará a determinar qual coleção de genes estará sendo expressa em resposta às variáveis ambientais e metabólicas.

Os textos a seguir fornecem informações complementares sobre a tecnologia do DNA recombinante.

Como obter genes para a construção de uma biblioteca genômica

A sequência das bases nitrogenadas de genes responsáveis pela síntese de certas proteínas importantes estão disponíveis em bancos de dados de acesso gratuito, como o NCBI, EBI, etc. Os genes que serão usados para formação do DNA recombinante podem ser conseguidos a partir da sequência de aminoácidos da proteína correspondente com base no conhecimento do código genético – lembre-se de que cada trio de bases do DNA corresponde a um trio de bases do RNA-mensageiro (códon), que codifica um aminoácido. Eles também podem ser obtidos a partir de um estoque de fragmentos de DNA incorporados em plasmídeos, denominado biblioteca de DNA. As colônias de bactérias com os plasmídeos modificados são separadas de acordo com os genes enxertados. É possível se construir uma biblioteca a partir dos RNA-mensageiros correspondentes extraídos de uma célula viva por meio de técnicas especiais. A partir dessas moléculas de RNA, produzimos uma cópia de DNA utilizando uma enzima chamada transcriptase reversa, que constrói uma cadeia de DNA a partir do RNA-mensageiro. Essa enzima foi isolada dos retrovírus, como o HIV, o vírus causador da Aids. Veja o esquema:

RNA no citoplasma $\xrightarrow{\text{transcriptase reversa}}$ DNA

Como funciona a técnica do PCR

Nessa técnica, o fragmento de DNA que se deseja amplificar é colocado em um tubo com a enzima DNA-polimerase (que catalisará a síntese das novas fitas de DNA), nucleotídeos e um *primer* (iniciador). Este é um curto trecho de DNA ou RNA que serve para iniciar o crescimento de uma cadeia. Ele se une ao DNA e permite a ligação da DNA-polimerase, que iniciará a colocação dos nucleotídeos. A amplificação é feita em uma série de etapas. De início, o material é submetido a altas temperaturas para que se rompam as pontes de hidrogênio entre os filamentos do DNA e eles se

convertam em fitas simples. Depois, os *primers* se ligam às regiões complementares. A DNA-polimerase catalisa a inserção dos nucleotídeos correspondentes ao DNA-molde. Uma DNA-polimerase – chamada de Taq polimerase – catalisa a inserção dos nucleotídeos, e um novo DNA é formado quando a temperatura diminui para 37 °C. O processo é repetido com as duas moléculas de DNA formadas, e a cada ciclo a quantidade de DNA é dobrada. Essa técnica só foi possível porque a DNA-polimerase utilizada no processo se mantém estável em altas temperaturas. Ela foi isolada da bactéria hipertermofílica *Termus aquaticus*, encontrada em fontes termais do parque florestal de Yellowstone (Estados Unidos).

O uso de sondas para identificar o DNA

Sondas são pequenas sequências específicas de DNA já conhecidas e que estão associadas a algum marcador (fluorescência, corante, radioatividade, etc.) e possibilitam a identificação de filamentos de RNA ou DNA complementares a elas. Por exemplo, se quisermos identificar a presença de um fragmento de DNA com a sequência **ATTTCCGA**, podemos fazer um gel de eletroforese com várias amostras de DNA e, depois, banhar essas amostras, já separadas pela eletroforese, com uma sonda que contenha a sequência **TAAAGGCT**. Essa sonda se ligará apenas à fita de DNA com um trecho complementar e, através do marcador, poderemos identificar em que banda do gel está o fragmento procurado.

Fontes de pesquisa: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology*. 8. ed. Menlo Park: Benjamin Cummings, 2008;

FARAH, S. B. *DNA:* segredos e mistérios. São Paulo: Sarvier, 1997;

GRIFFITHS, A. J. F. et al. *Introdução à Genética.* 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013;

KREUZER, H.; MASSEY, A. *Engenharia genética e biotecnologia*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002;

MALAJOVICH, M. A. *Biotecnologia.* Rio de Janeiro: Axcel, 2004;

SNUSTAD, D. P. ; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

Para saber mais sobre transgênicos, o professor pode consultar as publicações e os *site*s a seguir (acessos em: 7 abr. 2016):

ARAGÃO, F. J. L. *Organismos transgênicos*: explicando e discutindo a tecnologia. Barueri: Manole, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The state of food and agriculture 2003-2004; agricultural biotechnology: meeting the needs of the poor?*. Rome, WHO, 2004.

KREUZER, H.; MASSEY, A. *Engenharia genética e biotecnologia*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

MALAJOVICH, M. A. *Biotecnologia*. Rio de Janeiro: Axcel, 2004.

<www.ctnbio.gov.br/>

<www.anbio.org.br/>.

A questão número 2 da **Atividade prática** ao final do capítulo tem o objetivo de corrigir a concepção errônea, mas difundida, de que o DNA está presente apenas em alimentos transgênicos.

CAPÍTULO 8: Evolução: as primeiras teorias

As perguntas que se seguem ao texto que abre o capítulo têm o objetivo de avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre alguns pontos-chave da teoria da evolução, como a descendência por modificação e a seleção natural. Ela permite também avaliar a aprendizagem desses pontos ao final do capítulo.

É difícil promover a mudança conceitual de explicações finalistas, que têm um apelo intuitivo, para as darwinistas ou neodarwinistas. Por isso, o professor deve chamar a atenção para o fato de que mudanças fenotípicas sem a correspondente alteração genética nas células germinativas não podem ser herdadas pelos descendentes. Na construção desse argumento, ele pode se valer das questões 1, 7, 10 e 12 de **Atividades**. Pode se valer ainda de perguntas como: "Se eu tomar muito sol a vida toda, meus filhos nascerão mais morenos do que se eu não tivesse tomado sol nenhum?"; "Os filhos de uma pessoa que fez musculação a vida toda irão herdar uma tendência para terem músculos mais fortes?". A seguir, o professor pode recordar com os alunos, em linhas gerais, os processos de transcrição e tradução do código genético. Depois, ele pode mostrar que, de acordo com os conhecimentos que temos hoje sobre o código genético, uma modificação na proteína de uma pessoa não altera a sequência de bases do RNA nem do DNA.

No entanto, lembrando o que foi dito no Manual do Volume 1 desta Coleção (Capítulo 10) e no Capítulo 1 deste livro-texto, atualmente vêm sendo discutidos alguns tipos particulares de herança que, embora não modifiquem o genótipo, isto é, não modifiquem a sequência de bases do DNA, podem modificar a expressão gênica. São as chamadas mudanças epigenéticas, que afetam a expressão de certos genes, isto é, que podem impedir que certos trechos de DNA presentes no genótipo se manifestem. Essas mudanças podem ser influenciadas por fatores ambientais, como a nutrição, e podem, em alguns casos, ser transmitidas aos descendentes, pelo menos por algumas gerações.

Entretanto, o papel evolutivo dessas mudanças ainda está em discussão na comunidade científica. Caso deseje mais informações, consulte o livro e os *site*s relacionados abaixo (acessos em: 7 abr. 2016):

JABLONKA, E.; LAMB, M. J. *Evolução em quatro dimensões*: DNA, comportamento e a história da vida. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

<www.genetica.esalq.usp.br/pub/seminar/FSalvato-200702-Resumo.pdf>

<http://media.wix.com/ugd/b703be_178ec3df84f5412781d353573e1b2bb5.pdf>

<www.hopkinsmedicine.org/institute_basic_biomedical_sciences/research_centers/epigenetics/> (em inglês).

O aluno precisa compreender também que, com o conhecimento atual do código genético, os problemas de explicações finalistas são muito mais evidentes que na época de Lamarck e que é um processo natural em ciência uma teoria, como a dele, ser substituída por outra, um tema estudado em História e Filosofia da ciência. Essa teoria, assim como a de Darwin, contém erros que hoje podem ser bem caracterizados. Afinal, todos, cientistas ou não, cometem erros.

O professor pode utilizar o texto a seguir, sobre o pescoço da girafa, para mostrar que uma suposta vantagem adaptativa precisa ser testada para não se incorrer em um "adaptacionismo ingênuo", isto é, para não se atribuir de forma arbitrária um valor adaptativo a determinada característica. A discussão nesse boxe mostra como a identificação do valor adaptativo de certa característica necessita de observações e de experimentos para ser bem estabelecida – o que nem sempre é fácil de realizar.

Por que a girafa tem pescoço tão longo?

A girafa (*Giraffa camelopardalis*) e o ocapi (*Okapia johnstoni*) formam a família Giraffidae. O ocapi vive em florestas na região do Congo, na África. A girafa é encontrada nas savanas desse continente. Ambos podem ter evoluído a partir de um ancestral comum durante o período Mioceno, que durou de 23,3 milhões a 5,2 milhões de anos atrás.

Há vários fósseis de animais aparentados com as girafas que possuem pescoço menor, entre eles os gêneros *Climacoceras*, *Canthumeryx*, *Paleomeryx*, *Palaeotragus* e *Samotherium*.

A explicação clássica para o aumento do pescoço da girafa é que um pescoço longo permitia ao animal comer folhas no alto das árvores nas épocas de seca, quando as plantas rasteiras perdem as folhas. No entanto, alguns pesquisadores observaram que, durante essas épocas, as girafas se alimentam na maior parte do tempo de folhas de arbustos baixos ou de árvores de altura inferior ao tamanho de seu pescoço.

Então, os pesquisadores Robert E. Simmons e Lue Scheepers propuseram a hipótese de que o aumento do pescoço ao longo das gerações se deve à vantagem que ele confere quando dois machos lutam em disputa pelas fêmeas. Na luta, os machos usam o pescoço para golpear o adversário, o que provoca lesões que levam um deles a desistir da luta.

Mas essas pesquisas receberam críticas. Outros pesquisadores, por exemplo, apontam que a primeira e a segunda vértebras no pescoço da girafa estão posicionadas de modo a permitir a extensão completa do pescoço e que as girafas comem folhagens a mais de 5 m de altura, na extensão máxima de seu pescoço. Além disso, entre machos e fêmeas com o mesmo peso não foram encontradas diferenças significativas no comprimento do pescoço, como seria de esperar se estivéssemos diante de um caso de seleção sexual.

Em 2007 os pesquisadores Elissa Cameron e Johan T. du Toit publicaram um artigo em que mostram que as girafas geralmente

comem folhas das partes mais altas das árvores, inacessíveis a outros herbívoros, e que suas observações apoiam a hipótese de que o aumento do pescoço conferiu uma vantagem seletiva por evitar a competição com herbívoros que se alimentam das partes mais baixas das árvores. O fenômeno é explicado como consequência da seleção natural, que fixa mutações que reduzem ou evitam a competição. Desse modo, há uma partilha de recursos do ambiente entre as espécies, o que evita a competição. Para Cameron e Toit, esse trabalho fornece a primeira evidência experimental a favor da hipótese clássica sobre a evolução do pescoço das girafas. No entanto, há autores que afirmam que isso não quer dizer que essa foi a vantagem que, ao longo da história evolutiva, fez o pescoço das girafas aumentar.

Assim, devemos concluir que não é simples descobrir a suposta vantagem adaptativa de determinada característica. Para isso são necessárias muitas pesquisas que envolvam a anatomia de um organismo, sua fisiologia e ecologia, entre outros fatores.

Fontes de pesquisa: CAMERON, E.; TOIT, J. T. du. Winning by a Neck: Tall Giraffes Avoid Competing with Shorter Browsers. *American Naturalist*, 169: 130-135, jan. 2007;

MITCHELL, G.; SITTERT, S. J. van; SKINNER, J. D. Sexual Selection is Not the Origin of Long Necks in Giraffes. *Journal of Zoology*. v. 278, n. 2, p. 1-6, 2009;

SIMMONS, R. E.; SCHEEPERS, L. Winning by a Neck: Sexual Selection in the Evolution of the Giraffe. *American Naturalist*, 148: 771-786, 1996;

WOOLNOUGH, A. P.; TOIT, J. T. du. Vertical Zonation of Browse Quality in Tree Canopies Exposed to a Size-Structured Guild of Africa Browsing Ungulates. *Oecologia*, 129: 585-590, 2001.

Na internet:
<www.physorg.com:80/news86017365.html>
(acesso em: 7 abr. 2016).

O professor deve ficar atento para que os alunos não cometam o equívoco de atribuir valores a uma teoria científica, por exemplo, a teoria da evolução, como foi o caso das teses do chamado "darwinismo social", defendido por Herbert Spencer. Esse tema é abordado no boxe *Biologia e sociedade* (p. 121) e na última pesquisa da seção **Trabalho em equipe** e permite uma integração com as disciplinas de Filosofia e História.

Existem grupos religiosos que não aceitam a teoria da evolução e defendem o criacionismo, segundo o qual as espécies foram criadas da forma como existem hoje e de acordo com uma leitura literal de livros religiosos. Outros aceitam a teoria da evolução e não veem incompatibilidade entre essa teoria e a religião. De qualquer forma, crenças religiosas devem ser respeitadas e devem ser tratadas na esfera religiosa.

Alguns professores podem perguntar, no entanto, o que fazer se um aluno afirmar que não aceita a teoria da evolução devido a sua crença religiosa. Uma alternativa é que o professor diga que não exige que o aluno aceite essa teoria: o que ele quer apenas é que o aluno a entenda. Pode-se acrescentar também que cabe ao professor de Biologia apresentar teorias aceitas consensualmente pela comunidade científica, como a teoria da evolução, de acordo com o que é publicado em revistas científicas especializadas sobre o assunto, mas que as crenças religiosas devem ser respeitadas e devem ser tratadas em aulas de religião.

No livro *Pilares do tempo* (veja as referências ao final do texto), o paleontólogo estadunidense Stephen Jay Gould (1941-2002) considera que ciência e religião são "magistérios não interferentes". Para ele, a ciência desenvolve teorias para explicar o universo natural. A religião tenta explicar o universo moral, trabalhando em uma esfera diferente: a dos significados e valores humanos – assuntos que a ciência pode até esclarecer, mas nunca solucionar. Em resumo, ao contrário da religião, a ciência não nos diz como as coisas deveriam ser, ou seja, não nos dá valores éticos.

Segundo esse pensamento, não há necessariamente um choque entre a ciência e a religião ou entre evolução e religião: há cientistas, por exemplo, que aceitam a teoria da evolução e são religiosos. Alguns desses cientistas defendem a ideia de que Deus criou não só o Universo, mas também as leis da natureza – como as leis da Física e o processo de evolução. Segundo esse pensamento, uma pessoa religiosa pode aceitar que Deus criou o Universo e os seres vivos; que o processo pelo qual ele o fez é descrito pela ciência; e que as características espirituais do ser humano são de origem divina. Outros simplesmente mantêm suas crenças religiosas separadas de sua atividade científica.

Para se aprofundar sobre esse tema, o professor pode consultar as referências a seguir:

GOULD, S. J. *Pilares do tempo:* ciência e religião na plenitude da vida. Rio de Janeiro: Rocco, 2002.

MEYER, D.; El-HANI, C. N. *Evolução:* o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. Unesp, 2005.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES AND INSTITUTE OF MEDICINE. *Science, evolution, and creationism*. Washington: The National Academies, 2008.

RUSE, M. *The Evolution-Creation Struggle*. Cambridge: Harvard University, 2005.

SEPULVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 1-49, 2004. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol9/n2/v9_n2_a2.htm> (acesso em: 7 abr. 2016).

A questão 2 de **Atividades** avalia a compreensão do estudante da analogia feita por Darwin entre seleção natural e seleção artificial.

A primeira pesquisa da seção **Trabalho em equipe** ao final do capítulo permite que os alunos aprofundem seus conhecimentos sobre a passagem de Darwin pela América do Sul (Brasil, inclusive). Na segunda pesquisa, os alunos poderão aumentar seus conhecimentos sobre outros pesquisadores que contribuíram para a teoria da evolução, ajudando-os a perceber que o conhecimento científico é fruto de um trabalho em conjunto de muitos pesquisadores.

Além dos livros que tratam de evolução indicados neste Manual, o professor pode consultar também os *site*s relacionados abaixo (acessos em: 7 abr. 2016):

Em português:

<www.ib.usp.br/evolucao/inic/>

<www.cientic.com/tema_evolucionismo.html>

<www.darwin2009.cienciaviva.pt/home/>

<evolucionismo.org/>.

Em inglês:

<evolution.berkeley.edu/>

<www.pbs.org/wgbh/evolution/>

<www.bbc.co.uk/darwin/>

<www.millerandlevine.com/km/evol/index.html>

<www.nationalacademies.org/evolution/>

<www.amnh.org:80/exhibitions/darwin/>

<www.nhm.ac.uk/nature-online/science-of-natural-history/expeditions-collecting/beagle-voyage/index.html>

<http://roughguidetoevolution.blogspot.com/>

<http://ncseweb.org/>

<http://thedispersalofdarwin.wordpress.com/2009/02/26/some-darwin-links/>.

As obras de Darwin estão disponíveis em:

<http://darwin-online.org.uk> (em inglês; acesso em: 7 abr. 2016).

Sobre a vida e a obra de Wallace, ver:

<www.wku.edu/~smithch/index1.htm> (acesso em: 7 abr. 2016).

Sobre a vida e a obra de Lamarck, ver:

<www.lamarck.cnrs.fr/> (em francês; acesso em: 7 abr. 2016).

O número 107, de 10 de abril de 2009, da revista eletrônica *Com Ciência* (SBPC/Labjor), de divulgação de ciência e tecnologia, contém vários artigos sobre o evolucionismo e pode ser acessada em:

<www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=45&tipo=dossie/> (acesso em: 7 abr. 2016).

CAPÍTULO 9: A teoria sintética: variabilidade genética e seleção natural

As perguntas que abrem o capítulo ajudam a avaliar o conhecimento prévio do aluno a respeito do tema central a ser estudado: a relação entre variedade genética, seleção natural e evolução.

Pode ser difícil para o aluno compreender o caráter aleatório da mutação, isto é, o fato de que, apesar de as mutações poderem ser provocadas pelo ambiente, seus efeitos não são dirigidos por ele. Em outras palavras, o aparecimento de um mutante adaptado a um ambiente não tem probabilidade maior de ocorrer nesse ambiente do que em qualquer outro onde a mesma mutação não seria vantajosa. Para facilitar a compreensão do aluno, o professor pode explorar o texto do item "O acaso das mutações" (p. 128), de modo que fique bem claro para o aluno que a mutação ocorre independentemente de seu valor adaptativo: a chance de uma mutação aparecer não é afetada pela vantagem que ela poderá conferir ao seu portador.

É importante que o professor também analise com os alunos a questão 1 de **Atividades**, que permite avaliar esse ponto.

O professor deve, ainda, prestar atenção nas respostas dos alunos a questões que permitem identificar raciocínios finalistas e discutir as várias opções de respostas. A questão a seguir ilustra um exemplo que pode ser usado para descobrir a presença dessa concepção no conhecimento prévio do aluno:

"Um inseticida foi capaz de eliminar insetos que atacavam uma plantação. No entanto, depois do uso repetido ao longo de alguns anos, o agricultor verificou que a população de insetos tornou-se resistente ao inseticida. Indique, entre os itens a seguir, a melhor explicação para esse fato:

a) O inseticida provocou alterações no gene que conferia resistência ao inseticida e fez surgir um inseto resistente.
b) Os insetos acostumaram-se ao inseticida por causa do contato com o produto e, com o tempo, tornaram-se resistentes.
c) Um inseto resistente, que não surgiu por causa do inseticida, sobreviveu e se reproduziu, enquanto os insetos sensíveis ao inseticida foram eliminados."

É fundamental que o aluno compreenda que a variedade genética, devido à mutação e à reprodução sexuada, cujas vantagens são apresentadas no boxe *Processos evolutivos* (p. 129), pode ser comparada à "matéria-prima" da evolução.

O professor deve trabalhar bem os exemplos, hoje clássicos, de evolução por seleção natural do item 3 desse capítulo do livro-texto (p. 129 a 130).

Outras evidências e estudos de evolução por seleção natural podem ser lidos nos artigos a seguir.

KAUFMAN, D. W. Adaptive coloration in *Peromyscus polionotus*: Experimental selection by owls. *Journal of Mammalogy*, n. 55, p. 271-283, 1974.

LENSKI, R. E. Phenotypic and genomic evolution during a 20 000-generation experiment with the bacterium *Escherichia coli. Plant Breeding Reviews,* n. 24, p. 225--265, 2004. Disponível em: <http://myxo.css.msu.edu/lenski/pdf/2004,%20Plant%20Breeding%20Reviews,%20Lenski.pdf> (acesso em: 7 abr. 2016).

LOSOS, J. B.; SCHOENER, T. W.; SPILLER, D. A. Predator--induced behaviour shifts and natural selection in field-experimental lizard populations. *Nature*, n. 432, p. 505-508, 25 November 2004.

MAJERUS, M. E. N.; MUNDY, N. I. Mammalian melanism: natural selection in black and white. *Trends in Genetics*, v. 19, n. 11, Nov. 2003, p. 585-588.

ORR, H. A. Sutilezas da seleção natural. *Scientific American Brasil*. Ano 7, n. 81, fev. 2009, p. 32-39.

O professor deve alertar os alunos, porém, que mutação e seleção natural não são os únicos fatores evolutivos, como veremos no capítulo seguinte.

O texto "As limitações da seleção natural" (p. 132) discute algumas ideias incorretas, mas comumente empregadas, no conhecimento comum. Um exemplo é a ideia de uma evolução "em escada" em vez de uma "árvore"; a ideia de que uma esponja, por exemplo, por ter uma estrutura mais simples do que um mamífero é um organismo menos adaptado ou "menos evoluído"; a ideia de que qualquer característica pode surgir por mutação ou seleção natural, em vez do conceito de que novas características dependem de estruturas herdadas de ancestrais, o que limita o potencial de adaptações que podem surgir; a ideia de que as espécies sempre evoluem para novas espécies, quando, na realidade, estima-se que mais de 99% das espécies se extinguiram.

Convém esclarecer que, no Ensino Médio, e também nos livros didáticos desse nível de ensino, devem ser apresentados aos alunos os conhecimentos aceitos pela comunidade científica e também as polêmicas nessa comunidade. Para isso, são utilizados como fontes de consulta textos universitários e artigos publicados em revistas científicas. O problema é que algumas críticas contra a teoria da evolução, mesmo não aceitas consensualmente por pesquisadores que trabalham nessa área, ou que não estão publicadas em revistas especializadas, podem acabar tendo uma visibilidade dentro da sociedade, como é o caso de algumas críticas à teoria da evolução, como as do bioquímico Michael Behe, mencionadas no boxe a seguir. O professor pode aproveitar, então, para reforçar o fato de que, em ciência, novas ideias, experimentos e críticas devem ser publicados em revistas científicas especializadas, para que possam ser testadas, criticadas e avaliadas por outros cientistas.

O texto a seguir explica como órgãos complexos, como os olhos, poderiam ter se formado por processos evolutivos. O boxe comenta também, de maneira breve, as críticas feitas à ideia de que o aparecimento de estruturas celulares complexas, como o

flagelo bacteriano, não poderia ser explicado pela teoria da evolução, fornecendo uma lista de referências sobre esse tópico.

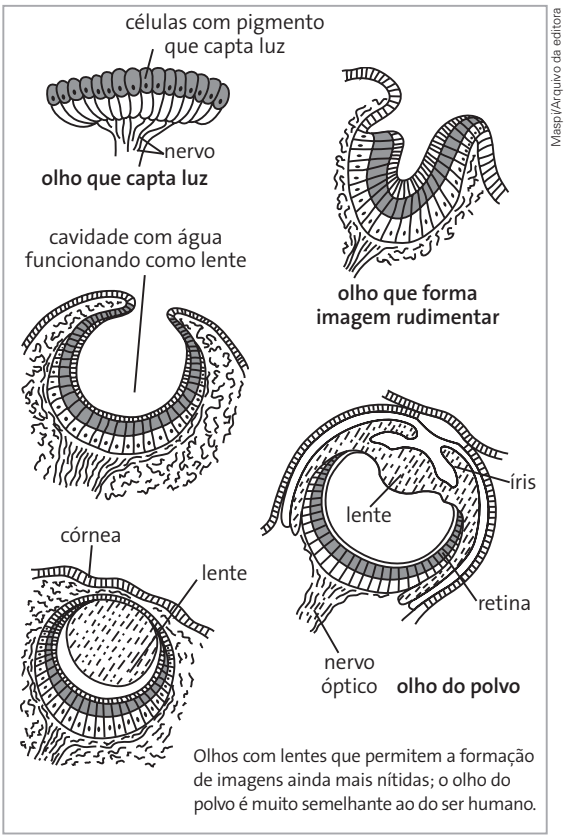
A evolução e a complexidade dos seres vivos

Para que nossos olhos funcionem adequadamente, é preciso que a lente (cristalino) e a córnea, em conjunto, façam a imagem cair exatamente na retina e que os cones e bastonetes enviem sinais precisos pelo nervo óptico até o cérebro. Todas essas estruturas resultam do trabalho coordenado de vários genes.

Podemos supor que, de início, tenha surgido um organismo com um olho muito simples, com uma espécie de pigmento capaz apenas de acusar a presença de luz. Esse organismo obteve uma vantagem de sobrevivência sobre os outros (talvez isso lhe permitisse encontrar plantas com mais facilidade) e aumentou de número na população.

As mutações continuaram a ocorrer na população de organismos com olhos simples: algumas neutras, outras prejudiciais (que tendem a ser eliminadas pela seleção natural) e outras que podem ter contribuído para melhorar um pouco a visão. Por exemplo, os pigmentos podem ter ficado concentrados em uma espécie de concavidade que funcionou como uma câmara escura e permitiu a formação de imagens rudimentares e desfocadas dos objetos – uma imagem desfocada é melhor que nenhuma imagem. Essa vantagem adaptativa fez aumentar o número desses novos organismos na população. A repetição desse processo acabou levando a um acúmulo de pequenas mudanças, explicando, assim, a origem de órgãos complexos como o olho humano.

Examinando os animais atuais, podemos observar uma série de olhos, dos mais simples, começando por aqueles que não formam imagens, mas apenas captam a presença de luz, seguindo-se olhos desprovidos de lente, mas capazes de formar imagens rudimentares, e assim por diante. Veja a figura a seguir.



Maspi/Arquivo da editora

Ilustração simplificada de vários tipos de olhos encontrados no grupo dos moluscos. (Os elementos da figura não estão na mesma escala.)

No livro *A caixa preta de Darwin*: o desafio da Bioquímica à teoria da evolução (Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997), o bioquímico Michael Behe afirma que certas estruturas da célula, como o flagelo das bactérias, não poderiam ter se formado pelo processo gradual de mutações e seleção natural, porque somente o sistema completo, com todas as partes, pode funcionar. O mesmo raciocínio se aplicaria para o sistema de coagulação do sangue e o sistema imunitário. Behe chama esses sistemas de "irredutivelmente complexos" e, para ele, esses sistemas deveriam ter surgido de uma só vez, por meio de um agente inteligente. Essa ideia é chamada de *Design* inteligente.

Vários estudos (como o de Pallen e Matzke, indicado nas referências), no entanto, mostram que apenas 23 das 42 proteínas encontradas no flagelo da bactéria *Salmonella typhimurium* estão presentes em todas as bactérias. Além disso, certas partes do flagelo são semelhantes

a outras estruturas, como o sistema que injeta toxinas da bactéria nas células parasitadas (Sistema de Secreção Tipo III) e outras são semelhantes ao sistema que transporta íons pela membrana. Em cada um desses sistemas estão ausentes várias partes do flagelo. Apesar disso, eles exercem perfeitamente suas funções. Podemos supor, então, que, por evolução, precursores desses sistemas possam ter se combinado e originado uma estrutura com uma função diferente da original, como é o caso do flagelo.

Nessa discussão, é importante lembrar que um órgão complexo pode passar a ter uma função diferente da estrutura ancestral a partir da qual evoluiu. As primeiras penas de dinossauros, por exemplo, poderiam ter a função de conservar calor no corpo, mas, ao longo do processo evolutivo, passariam a atuar no voo.

Em vários grupos de invertebrados há proteínas semelhantes aos fatores de coagulação, que desempenham outras funções nesses animais. Essas proteínas podem ter passado a ter novas funções nos vertebrados, atuando na coagulação do sangue. Além disso, em alguns vertebrados, faltam três fatores de coagulação e mesmo assim o sistema funciona normalmente.

O processo de duplicação de genes tem um papel importante em todo esse processo: as cópias desses genes podem sofrer mutações e gerar novas proteínas com novas funções, sem prejudicar a função inicial do sistema, que continuaria sendo exercida pelos genes originais.

Fontes de pesquisa: Sobre a evolução do olho, há vários artigos (em inglês) na revista eletrônica *Evolution:* Education and Outreach Special Issue: Evolution and Eyes. v. 1, n. 4, out. 2008, p. 351-559. Disponível em: <http://link.springer.com/journal/12052/1/4/page/1 /> (acesso em: 7 abr. 2016).

Os autores do artigo a seguir (em inglês) simularam em computador quanto tempo levaria para um modelo de olho complexo ser formado por evolução a partir de um modelo simples, contendo apenas células fotorreceptoras. Assumindo certos parâmetros evolutivos, o tempo estimado foi de menos de 400 mil anos (olhos simples existem há mais de 500 milhões de anos).

NILSSON, D. E.; PELGER, S. A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proc. Roy. Soc. Lond. B,* n. 256, p. 53-58, 1994.

Uma descrição, com animação, sobre a evolução do olho pode ser vista, em inglês, em: <www.blackwellpublishing.com/ridley/a-z/Evolution_of_the_eye_b.asp> (acesso em: 7 abr. 2016)

Vídeo (em inglês) sobre a evolução do flagelo bacteriano: <www.youtube.com/watch?v=SdwTwNPyR9w>

Sobre a estrutura e a evolução do flagelo bacteriano, ver:

AIZAWA, S. I. Bacterial *flagella* and type III secretion systems. *FEMS Microbiology Letters*, n. 202, p. 157-164, 2001;

JONES, D. Uncovering the evolution of bacterial *flagellum*. *New Scientist*. n. 16 Feb. 2008, p. 40-43, 2008;

PALLEN, M. J.; BEATSON, S. A.; BAILEY, C. M. Bioinformatics, genomics and evolution of non-flagellar type--III secretion systems: a Darwinian perspective. *FEMS Microbiology Reviews*. n. 29, p. 201-229, 2005;

PALLEN, M. J.; MATZKE, N. J. From The Origin of Species to the origin of bacterial *flagella*. *Nature Reviews Microbiology*. n. 4, p. 784-790, 2006.

Na internet (acessos em: 7 abr. 2016): <www.millerandlevine.com/km/evol/design2/article.html>

<www.talkdesign.org/faqs/flagellum.html>

<http://talkorigins.org/indexcc/CB/CB200_1.html>

Sobre a evolução da coagulação do sangue:

JIANG, Y.; DOOLITTLE, R. F. The evolution of vertebrate blood coagulation as viewed from a comparison of puffer fish and sea squirt genomes. *Proceedings of the National Academy of Science*. Jun. n. 13, p. 7527-7532, 2003. Disponível em (acesso em: 7 abr. 2016): <www.pnas.org/content/100/13/7527.full.pdf+HTML>.

KREM, M. M., Di CERA, E. Evolution of enzyme cascades from embryonic development to blood coagulation. *Trends in Biochemical Sciences*. v. 27, n. 2, p. 67-74, 2002.

TRAVIS, J. On the origin of the immune system. *Science.* n. 324, p. 580-582, 2009.

Na internet (em inglês; acesso em: 7 abr. 2016): <www.millerandlevine.com/km/evol/DI/clot/Clotting.html>.

Sobre a evolução do sistema imunitário:

<www.talkdesign.org/faqs/Evolving_Immunity.html>.

O professor pode apresentar aos alunos o texto a seguir, no qual discutimos a história das mariposas de Manchester, que aparece em vários livros como um exemplo clássico de evolução por seleção natural. Nos últimos anos, porém, alguns críticos lançaram dúvidas sobre essa história. No texto apresentamos as críticas e os argumentos favoráveis dados por cientistas que realizaram pesquisas sobre esse assunto. Apesar das críticas, o pesquisador Michael Majerus afirma que o caso das mariposas continua um exemplo válido de seleção natural e que essa é a opinião de todos os cientistas que trabalharam com essas mariposas, citando Cyril Clarke, Paul Brakefield, Laurence Cook, Bruce Grant, Kay Mikkola, Rory Howlett, Carys Jones, David Lees e John Muggleton (M. Majerus, *Moths*. London: Harper-Collins, 2002, p. 252).

A história das mariposas: críticas e réplicas

A história das mariposas de Manchester, na Inglaterra, aparece em vários livros como um exemplo clássico de evolução por seleção natural. No entanto, ela tem sido alvo de críticas por parte de alguns cientistas.

Há duas variedades principais dessa espécie de mariposa (*Biston betularia*): uma de cor cinza-clara com pequenas manchas pretas e outra mais escura. Antes da industrialização, por volta de 1850, as mariposas claras eram mais comuns em Manchester. Após a Revolução Industrial, a variedade escura passou a ser dominante nas áreas próximas às indústrias – por volta de 1900 ela já representava cerca de 98% da população dessas mariposas nas regiões industrializadas da Inglaterra.

Nos anos de 1950, o médico e geneticista inglês Henry Bernard Davis Kettlewell (1907--1979) realizou uma série de experimentos que forneceram evidências a favor da explicação para essa mudança. Nas regiões não poluídas, os pássaros localizavam e comiam com mais facilidade as mariposas escuras, pois as formas claras ficavam camufladas sobre os troncos cobertos de liquens. A poluição provocada pela industrialização destruiu os liquens e escureceu os troncos. Com isso, as formas escuras ficaram camufladas e protegidas dos pássaros – ao contrário das formas claras – e aumentaram de número. Esse fenômeno ficou conhecido como melanismo industrial, já que a forma mais escura é chamada forma melânica. Isso ocorre também com muitas outras espécies de mariposas que vivem em áreas poluídas em outros locais do mundo.

Alguns cientistas afirmaram que, em condições naturais, as mariposas não repousam sobre os troncos e citaram o pesquisador inglês Michael Majerus (1954-2009), especialista no assunto e autor do livro *Melanism: evolution in action*. Contudo, o que Majerus afirma no livro (página 122) é que esses insetos geralmente repousam em partes não expostas dos troncos, em três locais: a) nos troncos, algumas polegadas abaixo da junção com os ramos, na região de sombra; b) na parte de baixo das ramificações do caule; c) nos ramos com folhas.

Convém lembrar que os pássaros procuram por mariposas em todas as partes da árvore, que são igualmente afetadas pela poluição, o que torna a forma escura mais camuflada nas regiões poluídas, independentemente do local onde repouse. Experimentos feitos por Rory Howlett e Michael Majerus mostraram que não há diferença significativa de predação em posições expostas e não expostas dos troncos (veja a referência do artigo de Howlett e Majerus nas fontes de consulta, no final deste texto).

As fotos que aparecem na maioria dos livros didáticos foram feitas muitas vezes com mariposas mortas e coladas nos troncos. No livro de Majerus e em vários artigos (como os de Liebert e Brakefield e o do próprio Majerus, indicados nas fontes de consulta no final do texto), porém, há fotos de mariposas vivas que pousaram naturalmente nos ramos e troncos. Além disso, as fotos nos livros didáticos têm apenas a função de ilustrar a camuflagem das duas formas de mariposas. As evidências de que a camuflagem e a predação pelos pássaros foram os principais fatores de seleção natural para a mudança na frequência da cor na população de mariposas não vêm dessas fotos, e sim de uma série de experimentos realizados não apenas por Kettlewell, mas por vários cientistas ao longo de muitos anos.

Além da observação e filmagem de pássaros comendo mariposas, foram realizados experimentos em que se contava o número de mariposas brancas e negras soltas e recapturadas em regiões poluídas e não poluídas: um número maior de mariposas claras é recapturado nos ambientes não poluídos e um número maior de mariposas escuras nos ambientes poluídos.

Majerus pôde constatar que cerca de 35% das mariposas repousavam nos troncos, 52% nos ramos horizontais e o restante nos galhos mais finos. Majerus observou também várias espécies de pássaros alimentando- se das mariposas, constatando que uma proporção significativamente maior de mariposas escuras

foi devorada em relação à de mariposas claras, como se esperaria em um local sem poluição. Analisando os dados obtidos, ele concluiu que a predação diferencial dos pássaros foi o principal fator responsável pela diminuição da forma escura ao longo do experimento, confirmando, portanto, a conclusão de Kettlewell.

Entre 2001 e 2007, Michael Majerus realizou um novo experimento com as duas variedades de *Biston betularia* em um local não poluído, em Cambridge, na Inglaterra. Nesse experimento, ele procurou rebater certas críticas feitas ao experimento de Kettlewell. A primeira delas afirma que Kettlewell soltou as mariposas perto dos troncos, enquanto o local preferencial de pouso desses insetos seria na parte inferior dos ramos.

Outra crítica diz que as mariposas foram soltas durante o dia, sendo que a escolha do local de repouso é feita à noite. Finalmente, afirma-se que foram soltas mais mariposas do que a quantidade normalmente presente em determinada área, o que poderia facilitar sua captura pelos pássaros.

Para evitar essas distorções, Majerus soltou mariposas nos ramos, à noite e na quantidade e proporção encontradas na região do experimento.

Um fato triste em toda essa polêmica foi a morte de Michael Majerus em 2009, ocorrida antes de ele publicar seus últimos resultados, deixando apenas uma palestra relatando o experimento.

Em 2012, porém, quatro biólogos que trabalham com essa questão publicaram os dados do experimento de Majerus (veja nas fontes de consulta o artigo de Cook, Grant, Saccheri e Mallet). A conclusão dos autores foi que os dados do experimento de Majerus mostram que os novos dados respondem às críticas feitas a trabalhos que utilizaram troncos de árvores como locais de repouso e que é praticamente impossível deixar de aceitar que a predação por aves é a principal causa de mudanças na frequência das mariposas. Finalmente, para os autores, o melanismo industrial é um exemplo claro e de fácil compreensão da evolução em ação.

Fontes de pesquisa: COOK, L. M.; GRANT. B.S.; SACCHERI, I. J.; MALLET, J. Selective bird predation on the peppered moth: the last experiment of Michael Majerus. *Biology Letters*. 2012. Disponível em: <http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/early/2012/01/27/ rsbl.2011.1136.full>; acesso em: 27 abr. 2016);

GRANT, B. Fine tuning the peppered moth paradigm. *Evolution*, v. 53, n. 3, p. 980-984, 1999 (o artigo pode ser consultado em: <http://bsgran.people. wm.edu/>; acesso em: 27 abr. 2016);

GRANT, B. Sour grapes of wrath. *Science*, v. 297, n. 5 583, p. 940-941, ago. 2002;

HOWLETT, R. J.; MAJERUS, M. E. N. The understanding of industrial melanism in the peppered moth (*Biston betularia*) (Lepidoptera: Geometridae). *Biological Journal of the Linnean Society*, n. 30, p. 31-44, 1987;

MAJERUS, M. E. N. Industrial Melanism in the Peppered Moth. *Biston betularia*: An Excellent Teaching Example of Darwinian Evolution in Action. *Evolution:* Education and Outreach. Jan. 2009. Disponível em: <www.springerlink.com/content/h7n4r6h026q1u6hk/fulltext.pdf> (acesso em: 27 abr. 2016);

MAJERUS, M. E. N. Melanism: evolution in action. New York: *Oxford University Press*, 1998;

MALLET, J. The peppered moth: a black and white story after all. *Genetics Society News*, n. 50, p. 34-38.

O último experimento de Michael Majerus, mencionado no texto acima corrige algumas distorções encontradas no experimento de Kettlewell, mostrando que, mesmo com as correções, a predação diferencial dos pássaros continua sendo o principal fator responsável pela mudança de frequência da forma clara e da forma escura da mariposa.

O texto acima e o item "As limitações da seleção natural" (p. 132) ajudam o aluno a compreender que uma suposta vantagem adaptativa precisa ser testada para não se incorrer em um "adaptacionismo ingênuo", isto é, para não se atribuir de forma arbitrária um valor adaptativo a determinada característica. Eles demonstram que são necessários observações e experimentos para tentar identificar a vantagem adaptativa de uma característica – o que nem sempre é fácil de realizar. O texto acima também contribui para que o aluno compreenda que sempre é possível melhorar um experimento e torná-lo mais rigoroso e também, em princípio, corrigir e melhorar uma teoria.

O capítulo apresenta vários exemplos de seleção natural que devem ser explorados pelo professor, além de exemplos que aparecem na seção **Atividades** (p. 133 a 136). O texto a seguir mostra que a teoria da evolução tem aplicações práticas importantes.

A evolução e a Aids

A análise do ácido nucleico do vírus da Aids, o HIV, indica a semelhança desse vírus com os do grupo SIV (simian immunodeficiency virus), encontrados em chimpanzés. Essa semelhança indica que o HIV pode ter sido adquirido quando alguns seres humanos foram mordidos ou arranhados tentando caçar macacos infectados.

A partir dos anos 1970, o vírus espalhou-se pelo mundo por meio de relações sexuais, do uso de drogas injetáveis e de transfusões sanguíneas. À medida que se espalhava, seu código genético sofria mutações, e novas variedades surgiam.

Como o vírus HIV não possui as enzimas que corrigem erros de mutação, sua taxa de mutação é cerca de 1 milhão de vezes maior que a dos organismos em geral. As mutações produzem, assim, uma série imensa de novos vírus mutantes. Essas novas variedades podem aparecer em um mesmo indivíduo, na mesma infecção.

A análise do gene do vírus responsável pela síntese da transcriptase reversa demonstrou que esse gene pode mudar ao longo do tempo e se tornar diferente daquele encontrado no início do tratamento em um mesmo indivíduo. Ao longo de uma infecção, seriam formados milhares de gerações de HIV e centenas de enzimas ligeiramente diferentes em um mesmo paciente.

Os vírus com enzimas com afinidade pelo AZT, um medicamento antiviral, deixam de se replicar. Mas algumas das mutações produziram novas enzimas com menor afinidade pelo AZT. Com isso, essas novas variedades podem se replicar mesmo em presença do medicamento, que deixa de ter efeito. Com o tempo foram descobertos outros medicamentos que agem de forma diferente do AZT. Um exemplo são os inibidores de protease, uma enzima que o vírus usa para "quebrar" proteínas em unidades menores e formar a sua cápsula. Como a probabilidade de surgirem mutantes resistentes ao AZT e também aos inibidores de protease é menor do que a probabilidade de surgirem mutantes resistentes a um ou a outro, a combinação dos dois medicamentos costuma ser mais eficiente no combate à infecção. O uso simultâneo de diferentes medicamentos também diminui a taxa de vírus no organismo, o que provoca impressionante melhora na saúde e na qualidade de vida dos pacientes.

Os parasitas mais agressivos costumam ser aqueles que se reproduzem mais rapidamente. Quanto maior a velocidade de reprodução de um parasita, maior a chance de o hospedeiro ficar doente e morrer. Então, como a seleção natural poderia beneficiar um parasita que provoca a morte rápida de um hospedeiro?

Em certas situações, mesmo que o hospedeiro morra rapidamente, o parasita já espalhou um número grande de descendentes na população de hospedeiros.

No caso de parasitas transmitidos por relação sexual, a disseminação da doença é tanto mais rápida quanto mais frequentes são as relações desprotegidas com parceiros diferentes. Nesse caso, parasitas muito agressivos, por exemplo, podem ser favorecidos pela seleção natural se forem capazes de passar rapidamente de um hospedeiro para outro.

A situação oposta ocorre quando se adotam medidas preventivas. Essas medidas incluem o uso de camisinha sempre e em todos os tipos de relações sexuais; o controle de qualidade do sangue doado; e o uso de seringas descartáveis. Com a adoção dessas medidas, as variedades de vírus menos agressivas, que demoram mais a provocar danos à saúde, são favorecidas pela seleção natural, pois elas sobrevivem mais tempo no hospedeiro até que haja uma falha em alguma das medidas preventivas (uma relação sexual sem camisinha, por exemplo).

Portanto, campanhas educativas e outras ações sociais que promovam medidas preventivas ajudam não apenas a combater a Aids como podem influenciar a própria evolução do HIV. O mesmo vale para uma postura responsável (ética) em relação aos parceiros sexuais. Esse é um entre outros exemplos da interação entre fatores biológicos, médicos e sociais, estudados também em Sociologia e Filosofia.

Fontes de pesquisa: EWALD, P. W. The evolution of virulence. *Scientific American*, 268 (4): 56-62, Apr. 1993;

MEYER, D.; EL-HANI, C. N. *Evolução:* o sentido da Biologia. São Paulo: Ed. da Unesp, 2005;

STEARNS, S. C.; HOEKSTRA, R. F. *Evolução, uma introdução*. São Paulo: Atheneu, 2003.

A maioria das questões no final do capítulo aborda também os conceitos de mutação e seleção natural, ajudando a reforçar a aprendizagem desses conceitos. Particular atenção deve ser dada às questões do Enem (14 e 15) e às questões 2 e 3. A questão 2, além de ser uma boa evidência da evolução como um fato, ilustra uma aplicação prática da teoria da Evolução. A questão 3 faz um breve resumo de um experimento em que o cultivo de bactérias em um subproduto com náilon selecionou linhagens capazes de degradar esse produto. A questão permite verificar se o aluno compreendeu a ideia de que a probabilidade do aparecimento de determinada mutação não tem relação com a vantagem adaptativa dessa mutação e apresenta também uma evidência experimental do processo de seleção natural. O artigo a seguir relata esse experimento:

PRIJAMBADA I. D. et. al. Emergence of nylon oligomer degradation enzymes in: *Pseudomonas aeruginosa* PAO through experimental evolution. *Appl Environ Microbiol*, 61, May, 1995, p. 2020-2022.

A **Atividade prática** no final do capítulo tem o mesmo objetivo e, além disso, seu caráter lúdico torna sua execução prazerosa para os alunos.

Como atividade extra, o professor pode indicar o *site* a seguir, em que há uma atividade interativa e com animação de seleção natural. Os alunos poderão, com o *mouse*, capturar mariposas camufladas e não camufladas, registrando o número relativo de capturas. Como o *site* é em inglês, o professor dessa disciplina pode ser convidado a assessorar os alunos nessa atividade: <www.echalk.co.uk/Science/biology/PepperedMoth/PepperedMoth.htm> (acesso em: 7 abr. 2016).

O *site* abaixo (em inglês) também apresenta uma simulação lúdica de seleção natural. O professor pode indicá-la aos alunos, que novamente poderão contar com o auxílio do professor de Inglês:

<www.biologyinmotion.com/evol/index.html> (acesso em: 7 abr. 2016).

CAPÍTULO 10: A teoria sintética: genética das populações e formação de novas espécies

Nesse capítulo, espera-se que os alunos compreendam que a evolução é provocada por vários fatores além da seleção natural – entre eles, a migração, a mutação e a deriva genética. Todos podem alterar a frequência relativa dos alelos e dos genótipos em uma população, ou seja, podem provocar evolução. Esse é o conceito de evolução utilizado no campo da genética das populações.

Em relação à lei de Hardy-Weinberg, os alunos podem questionar: "Qual a utilidade de uma lei que descreve uma situação que nunca vamos encontrar na natureza?". O professor deve enfatizar que, embora os fatores evolutivos estejam sempre presentes na natureza, a lei de Hardy-Weinberg fornece um padrão para que possamos avaliar as mudanças nas frequências alélicas de uma população e a intensidade dessas mudanças.

Aqui, o professor pode lançar uma pergunta aos alunos, que poderão contar com o auxílio do professor de Física para respondê-la: "Qual a semelhança entre a lei de Hardy-Weinberg e a primeira lei de Newton?". A semelhança é que a primeira lei de Newton ("Se nenhuma força atuar sobre um corpo, ele permanece em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme") nos permite calcular o valor das forças que atuam sobre corpos que não estão em repouso (ou em movimento retilíneo uniforme) e a lei de Hardy-Weinberg nos ajuda a descobrir que fatores evolutivos atuam sobre as populações que não estão em equilíbrio.

O artigo abaixo explica como realizar uma atividade prática para facilitar a compreensão da lei de Hardy-Weinberg e dos efeitos dos fatores evolutivos nas populações:

KLAUTAU-GUIMARÃES, M. N. et al. Dinâmica dos alfinetes no ensino da genética de populações. *Genética na escola*, ano 3, v. 2, p. 42-46, 2008.

Disponível em: <http://media.wix.com/ugd/b703be_4c0d55ce2cb940e79b7e5e1ab70d2dee.pdf> (acesso em: 7 abr. 2016).

Já este artigo apresenta uma simulação do efeito da seleção natural sobre a frequência alélica de uma população:

SOUZA, R. F. de. A cura: uma simulação da seleção natural na espécie humana. *Genética na Escola*, ano 3, v. 2, p. 20-23, 2008. Disponível em:

<http://media.wix.com/ugd/b703be_6e00744d26004414aee5e20ca8d35f41.pdf> (acesso em: 7 abr. 2016).

O texto indica que a definição de espécie comumente utilizada (conceito biológico de espécie) tem

limitações. No entanto, é uma definição importante para compreender o conceito de especiação. O professor pode encontrar outras definições e uma discussão sobre o conceito de espécie em (acessos em: 4 abr. 2016):

<www.zoo1.ufba.br/especie.htm>

<www.ib.usp.br/~delitti/projeto/projeto1/conceito_de_especie.htm>.

Embora geralmente seja um processo muito lento em termos de tempo de vida humano, há também casos de especiação bem mais rápida, como o de plantas que surgiram por poliploidia, discutidas no capítulo. Há ainda exemplos com drosófilas que mostram como a especiação pode ser, em alguns casos, relativamente rápida em seres com ciclo vital curto. O texto a seguir apresenta algumas evidências da especiação.

Evidências de especiação

Há muitas evidências de especiação na natureza. Em alguns casos, há várias populações da mesma espécie em uma grande área geográfica, cada uma ligeiramente diferente da outra. A população **A** cruza com a **B**; esta cruza com a **C**, que cruza com a **D**. Mas esta última população é tão diferente da **A**, que não cruza com ela ou, se o fizer, seus híbridos não serão férteis.

Esse é o caso do pássaro asiático conhecido como felosa troquiloide (*Phylloscopus trochiloides*). As populações dessa ave distribuem-se no sentido sul-norte, contornando o planalto tibetano, formando dois conjuntos de populações: uma do lado oeste e outra do lado leste. A distribuição das duas populações forma uma figura em anel.

As populações vizinhas são bem parecidas e podem cruzar entre si. Mas as diferenças aumentam ao longo do anel até que, na Sibéria central, as duas populações coexistem sem se cruzar. Nesse caso, o canto do macho para atrair a fêmea é tão diferente entre as duas populações que as fêmeas de uma não reconhecem os machos da outra.

Há vários experimentos que levaram a um isolamento reprodutivo e, consequentemente, à formação de novas espécies, feitos, geralmente, com drosófilas e outros insetos que se reproduzem rapidamente (no último *site* relacionado, adiante, em fontes de pesquisa há relatos e referências desses experimentos).

O grande número de plantas que surgiram por poliploidia é mais uma evidência da especiação e, nesse caso, de uma especiação que pode ocorrer em apenas duas gerações.

A especiação por poliploidia é mais rara nos animais, mas ocorre em alguns anfíbios. A perereca *Hyla versicolor*, por exemplo, é uma espécie tetraploide (2n = 48) originada da espécie *Hyla chrysoscelis* (2n = 24). As duas espécies são fisicamente muito parecidas, mas não são capazes de cruzar entre si.

Supõe-se que a especiação simpátrica possa ocorrer entre os animais por meio de isolamento ecológico, quando duas populações passam a explorar modos de vida diferentes (tipo de alimentação, local de reprodução, etc.) em uma mesma região geográfica. Com isso, o cruzamento entre elas torna-se raro e, eventualmente, formam-se duas novas espécies.

Por fim, não podemos esquecer também que a seleção artificial (cruzamentos seletivos feitos pelo ser humano) em alguns casos criou espécies novas: o carneiro doméstico, por exemplo, está isolado reprodutivamente de uma de suas espécies ancestrais, a *Ovis orientalis*.

Fontes de pesquisa: IRWIN, D. E.; BENSCH, S.; PRICE, T. D. Speciation in a Ring. *Nature*, n. 409, p. 333-7, 18 Jan. 2001.

DODD, D. M. B. Reproductive Isolation as a Consequence of Adaptive Divergence in *Drosophila pseudoobscura*. *Evolution*, v. 43, n. 6, p. 1308-1311, Sep. 1989.

Na internet (acessos em: 7 abr. 2016):

<http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/_0_0/evo_45>;

<www.talkorigins.org/indexcc/CB/CB910.html>;

<www.talkorigins.org/faqs/speciation.html>.

Outros exemplos de especiação podem ser vistos nos artigos e *sites* relacionados abaixo (em inglês; acesso em: 7 abr. 2016):

BYRNE, K.; NICHOLS, R. A. *Culex pipiens* in London Underground tunnels: differentiation between surface and subterranean populations. *Heredity*, n. 82, p. 7-15, 1999.

CRADDOCK, E. M. Speciation processes in the adaptive radiation of Hawaiian plants and animals. *Evolutionary Biology*, n. 31, p. 1-43, 2000.

McKINNON, J. S. et al. Evidence for ecology's role in speciation. *Nature*. n. 429, p. 294-298, 20 May 2004. Disponível em: <www.nature.com/nature/journal/v429/n6989/full/nature02556.html>.

SEEHAUSEN, O. et. al. Speciation through sensory drive in cichlid fish. *Nature*. n. 455, p. 620-626, 2 Oct. 2008.

<www.talkorigins.org/faqs/speciation.html>

<http://mysite.science.uottawa.ca/hrundle/Publications/2004.%20Rundle%20&%20Schluter.%20(Adaptive%20Speciation%20book%20chapter).pdf>.

O texto a seguir discute a velocidade com que a especiação pode ocorrer.

O equilíbrio pontuado

Os fósseis parecem indicar que, pelo menos em alguns casos, as espécies ficam longos períodos sem sofrer mudanças e, em certo momento, as mudanças parecem ocorrer de forma rápida (em termos geológicos, isso significa dezenas de milhares de anos), originando novas espécies.

Para alguns cientistas não houve evolução rápida: o registro fóssil que é sempre incompleto. Para outros, como os norte-americanos Niles Eldredge (1943-) e Stephen Jay Gould (1941-2002), a formação de novas espécies é, pelo menos em alguns casos, um processo rápido (em termos geológicos) e não gradual. Essa ideia é chamada de equilíbrio pontuado: períodos longos e estáticos "pontuados" por mudanças rápidas.

A rápida especiação poderia ocorrer por causa da deriva genética ou pelo efeito do fundador, que levariam à formação de uma população com frequência gênica diferente da frequência da população original. Isolada desta, uma nova espécie poderia surgir de forma mais rápida. Isso acontece porque no novo ambiente há fatores novos de seleção natural e em populações pequenas a deriva genética pode alterar rapidamente a frequência de alelos na população. A falta de fósseis de transição nesse período é consequência do pequeno tamanho da nova população. No entanto, há também muitos exemplos de evolução gradual, sem equilíbrio pontuado, nos fósseis, o que indica que ambos os casos podem ocorrer na natureza.

O equilíbrio pontuado pode ser estudado em:

ELDREDGE, N. *The pattern of evolution*. New York: W. H. Freeman and Company, 1998.

ERWIN, D.; ANSTEY, R. *New approaches to speciation in the fossil record*. Cambridge: Cambridge University, 1997.

E nos *sites* (acessos em: 7 abr. 2016):

<www.talkorigins.org/faqs/punc-eq.html>

<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/deriva-genetica/Acidentes-acontecem/?searchterm=deriva%20gen%C3%A9tica%20acidentes%20acontecem>.

No boxe *Biologia e sociedade* (p. 148) é defendida a ideia de que, do ponto de vista biológico, não faz sentido falar em raças na espécie humana, retomando a discussão iniciada no Volume 1. A seção **Trabalho em equipe** pede uma pesquisa interdisciplinar, discutindo as origens históricas e os fatores sociais ligados ao racismo, criticando-o e propondo medidas para combater essa atitude.

CAPÍTULO 11: Evolução: métodos de estudo

O texto de introdução do capítulo menciona alguns dos métodos utilizados para estudar a história da vida na Terra e, em conjunto com as questões da página seguinte, pode ser usado para aferir o conhecimento prévio do aluno sobre o tema.

Neste capítulo é explicado que o estudo dos fósseis se vale de métodos e dados de várias ciências, como a Geografia, a Geologia, a Química e a Biologia, entre outras. O professor deve acentuar esse ponto indicando, como exemplo, o boxe *Biologia e Química* (p. 154), que discute os processos de determinação da idade de um fóssil. O segundo item da atividade **Trabalho em equipe** aprofunda esse ponto, possibilitando uma interação com as disciplinas Física e Química.

O conteúdo do capítulo ajuda o aluno a compreender que a teoria da evolução tem a capacidade de explicar e unificar um grande número de fenômenos que, aparentemente, não têm relação entre si, como a sequência de fósseis, os órgãos homólogos e análogos, as semelhanças embriológicas entre organismos que, no estado adulto, são muito diferentes, os órgãos vestigiais e as semelhanças moleculares. A esse respeito, é mencionado no capítulo (p. 157) a famosa

frase do geneticista Theodosius Dobzhansky (1900--1975), "nada em Biologia faz sentido, a não ser à luz da teoria da evolução". Reforçando essa ideia, é pedido ao aluno na questão 2 de **Atividades** que interprete outra frase famosa, de Ernst Mayr (1904-2005), mais um outro evolucionista importante: "A teoria da evolução é, muito justamente, considerada a maior teoria unificadora em Biologia".

O aluno deve compreender também que, apesar de os cientistas discutirem a importância relativa da seleção natural, da deriva genética e dos mecanismos de especiação, por exemplo, a imensa maioria dos biólogos não tem dúvida de que a evolução ocorreu. Como diz Stephen Jay Gould, "Nós estamos debatendo como ela aconteceu" (em *Hen's teeth and horse's toes:* further reflections in natural history, New York: W. W. Norton, 1994).

O professor deve enfatizar que, com auxílio da teoria da evolução e de nossos conhecimentos sobre fósseis, podemos realizar predições. O termo *predição* aqui não significa uma previsão para o futuro, isto é, uma previsão sobre como a evolução de um grupo vai ocorrer. Predições afirmam o que deveríamos encontrar em certas situações. É o caso de fósseis de transição de peixes e anfíbios ou de dinossauros e aves, por exemplo, encontrados justamente nos estratos intermediários entre os dois estratos de fósseis de cada dupla, mencionados no texto do capítulo (p. 153).

A história da descoberta de fósseis de transição de peixes e anfíbios está em *A história de quando éramos peixes*, de Neil Shubin, indicado nas *Sugestões de leitura* deste Manual. O professor pode sugerir que os alunos pesquisem algumas características desses fósseis, como os gêneros *Ichthyostega*, *Acanthostega*, *Tiktaalik*, *Metaxygnathus*, *Ventastega*, *Elginerpeton*, *Panderichthys*, *Eusthenopteron*.

Pode ser pedida também uma pesquisa sobre a evolução dos mamíferos a partir dos sinapsídeos (*Dimetrodon*, *Thrinaxodon*, *Morganucodon*, entre outros).

Sobre fósseis de transição entre vários grupos de animais, há vários artigos (em inglês) na revista eletrônica *Evolution:* Education and Outreach Special Issue: Transitional Fossils. v. 2, n. 2, Jun. 2009, disponíveis em:

<http://link.springer.com/journal/12052/2/2/page/1> (acesso em: 7 abr. 2016).

O professor pode comentar aqui também o argumento de que "não podemos ver a evolução acontecendo". Isso não é verdade. É possível observar vários casos de evolução por seleção natural, como a resistência a antibióticos e pesticidas, a evolução do vírus da Aids, a evolução da anemia falciforme e o próprio fato de que as pessoas precisam tomar anualmente uma nova vacina contra a gripe (questão número 2, Capítulo 9). Além disso, o fato de a seleção natural ocorrer, em geral, de forma lenta e de ser difícil observá-la diretamente não significa que não haja evidências a seu favor. O mesmo vale, por exemplo, para fatos históricos antigos, que também não foram observados, ou para o estudo das partículas subatômicas: podemos determinar a massa ou a velocidade dessas partículas indiretamente, por meio de experimentos.

O boxe a seguir discute um ponto importante para a compreensão da natureza da ciência (estudado em História e Filosofia da ciência): o fato de que cientistas também cometem erros conceituais e formulam teorias incorretas. É importante que o aluno compreenda, porém, que o erro de Haeckel não compromete a importância de se estudar a embriogênese para a compreensão da evolução, como está explicado no texto. Acessando o *site* mencionado no boxe (<www.millerandlevine.com/km/evol/embryos/Haeckel.html>; em inglês; acesso em: 7 abr. 2016), podem ser observados desenhos e fotos que mostram estruturas semelhantes presentes em todos os vertebrados. Já no *site* <www.pbs.org/wgbh/nova/odyssey/clips/> (acesso em: 7 abr. 2016), há vídeos que mostram o desenvolvimento de vários desses embriões.

O erro de Haeckel

O biólogo alemão Ernst Haeckel (1834--1919) descreveu e nomeou um grande número de espécies, entre outras descobertas importantes. Ele ficou mais conhecido, porém, pela sua teoria de que, durante o desenvolvimento embrionário, um animal passa por fases que lembram seus ancestrais quando adultos, ou seja, que o desenvolvimento de um indivíduo (ontogênese) recapitula sua história evolutiva (filogênese). Mas essa afirmação não é correta. Como vimos, embriões não passam

por etapas semelhantes a ancestrais adultos: eles apenas possuem algumas estruturas presentes em embriões de espécies relacionadas evolutivamente. É o caso dos arcos faríngeos, presentes em todos os embriões de vertebrados. Outros exemplos são os pequenos brotos que aparecem no embrião das baleias e que, nos mamíferos terrestres, originam os membros posteriores. Nas baleias esses brotos são reabsorvidos. Essa é mais uma evidência (além dos fósseis e das semelhanças no DNA) da origem terrestre das baleias.

Mas nem todas as estruturas de embriões de ancestrais estão presentes nos embriões de seus descendentes e outras estruturas novas aparecem. O desenvolvimento embrionário não é, portanto, uma "recapitulação" da evolução.

Haeckel foi acusado de modificar desenhos de embriões de vertebrados para torná-los mais parecidos do que eram de fato, de forma a apoiar suas ideias de recapitulação. O erro de Haeckel, porém, não invalida o fato de que há várias semelhanças entre embriões de um mesmo grupo e que essas semelhanças podem ser explicadas pela evolução a partir de um ancestral comum.

Alguns historiadores, como Robert Richards (veja referência abaixo), acham que os erros de Haeckel não foram intencionais e que ele corrigiu vários desenhos em edições posteriores de seus livros.

Fontes de pesquisa: GOULD, S. J. *Ontogeny and philogeny*. Cambridge: Harvard University, 1977;

RICHARDS, R. J. Haeckel's embryos: fraud not proven. *Biol Philos*. n. 24, p. 147-154, 2009;

_____. *The tragic sense of life:* Ernst Haeckel and the struggle over evolutionary thought. Chicago: University of Chicago, 2008;

SHUBIN, N. *A história de quando éramos peixes:* uma revolucionária teoria sobre a origem do corpo humano. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008;

Na internet (acessos em: 7 abr. 2016):

<www.millerandlevine.com/km/evol/embryos/Haeckel.html>

<www.talkorigins.org/indexcc/CB/CB701.html>

O professor pode pedir também para os alunos lerem e discutirem o Capítulo 6 do livro de Neil Shubin (*A história de quando éramos peixes*), mencionado nas fontes de consulta do texto acima, que trata das semelhanças embrionárias entre os vertebrados e o artigo de Neil Shubin "Falhas de projeto", na revista *Scientific American Brasil*, de fevereiro de 2009, p. 52-55.

O texto abaixo, sobre pseudogenes, permite compreender que o estudo do DNA vem apresentando fortes evidências da evolução dos seres vivos, passando a ser um importante método de estudo da evolução.

Pseudogenes

Em répteis e aves, segmentos do DNA orientam a produção de uma proteína presente na gema do ovo desses organismos. Nos mamíferos, os mesmos segmentos de DNA são encontrados na forma inativa, ou seja, em mamíferos eles não orientam a produção da proteína em questão. A explicação para isso é simples: como na maioria dos mamíferos a nutrição do embrião ocorre via placenta, houve um acúmulo de mutações que, ao longo do tempo, tornaram inativos os segmentos de DNA correspondentes à produção dessa proteína.

Trechos de DNA que orientariam a produção de um RNA ou de uma proteína mas que, ao longo do processo evolutivo, se tornaram inativos, isto é, tornaram-se incapazes de orientar essa produção, são chamados pseudogenes. A presença desse pseudogene em mamíferos é mais uma evidência de que o grupo descende dos répteis, pois ele deve ter sido herdado de um antepassado comum aos dois grupos. Essa evidência também está de acordo com os dados obtidos nos estudos comparados de fósseis, de anatomia e de embriologia de mamíferos e répteis.

Há muitos outros casos desse tipo de evidência de parentesco evolutivo. Por exemplo, um gene que orienta a síntese de uma das enzimas necessárias para a produção de vitamina C é ativo em vários grupos de mamíferos, mas está inativo (na forma de pseudogene) em chimpanzés, gorilas, orangotangos e humanos.

Fontes de pesquisa: GERSTEIN, M.; ZHENG, D. Pseudogenes na vida real. *Scientific American Brasil*. ed. 52, p. 53-59, set. 2006;

CARROL, S. B. *The Making of the Fittest:* DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution. New York: W. W. Norton, 2007;

COYNE, J. A. *Why Evolution is True*. New York: Penguin, 2009.

A primeira pesquisa da seção **Trabalho em equipe** ajuda o aluno a conhecer melhor os fósseis de ancestrais das baleias e, com isso, a valorizar a evidência fóssil da evolução.

Já a segunda pesquisa permite que o aluno aprofunde seus conhecimentos não apenas das datações por isótopos radioativos como as aplicações desses isótopos em várias áreas da ciência. O caráter interdisciplinar com Química e Física é outra característica importante dessa atividade.

Para essa segunda pesquisa, além dos livros de Física e Química do Ensino Médio, podem ser consultados os livros abaixo:

PRESS, F. et. al. *Para entender a Terra*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

Uma atividade prática sobre as evidências biogeográficas da teoria da evolução pode ser acessada em: <www.nabt.org/web*sites*/institution/File/pdfs/american_biology_teacher/2009/Feb%20online/071-02-0049.pdf> (em inglês; acesso em: 7 abr. 2016).

Recentemente, foi mencionado que foram identificados os genes que regulam o desenvolvimento no embrião do bico de algumas espécies de tentilhões. Essa pesquisa foi publicada em 2006 na revista *Nature*:

ABZHANOV, A. et. al. The calmodulin pathway and evolution of elongated beak morphology in Darwin's finches. *Nature*, v. 442. n. 7102. p. 563-567, 2006.

Em janeiro de 2009, a revista inglesa *Nature* disponibilizou na internet o artigo *15 evolutionary gems* (15 joias da evolução), um recurso para ajudar professores e todos os que queiram divulgar as evidências da evolução.

O artigo resume várias evidências recentes publicadas pela revista a partir do final dos anos 1990 até 2008, sobre vários temas evolutivos. Disponível em:

<www.nature.com/nature/newspdf/evolutiongems.pdf> (em inglês; acesso em: 7 abr. 2016).

Versão do artigo traduzido para o português (pelo biólogo Eli Vieira). Disponível em:

<http://evolucionismo.org/profiles/blogs/15-joias-da-evolucao> (acesso em: 7 abr. 2016).

Uma lista de evidências da evolução pode ser vista no *site*:

<www.talkorigins.org/faqs/comdesc/> (em inglês; acesso em: 7 abr. 2016).

O item 3, "Estudos moleculares" (p. 157), explica que a análise de DNA indica que um cromossomo humano poderia ter surgido da fusão entre dois cromossomos do ancestral de chimpanzés e humanos. O professor pode chamar a atenção do aluno para o fato de que essa é mais uma evidência do grau de parentesco entre nós e os chimpanzés. Para maiores detalhes, o professor pode ler:

HILLIER, L. W. et. al. Generation and annotation of the DNA sequences of human chromosomes 2 and 4. *Nature*, v. 434, p. 724-731, 7 Apr. 2005.

YUNIS, J. J.; PRAKASH, O. The origin of man: a chromosomal pictorial legacy. *Science*, v. 215, p. 1525-1530, 1982.

A questão 3 de **Atividades** chama a atenção para a importância das análises de DNA para o estudo da evolução. A questão 7 também aborda as evidências moleculares da evolução.

CAPÍTULO 12: A evolução humana

Logo no início do capítulo, é interessante que o professor avalie o conhecimento prévio do aluno sobre um ponto importante da evolução humana. Muitos alunos podem pensar que o homem veio de uma espécie atual de macaco ou do chimpanzé. Por isso, é interessante começar a trabalhar esse tópico pedindo para os alunos resolverem a questão 5 de **Atividades**. Essa questão também trata de outra concepção inadequada: a visão "em escada" da espécie humana, em vez de uma árvore" evolutiva, com uma série progressiva de ancestrais alinhados até chegar à espécie humana atual.

Estudos sobre a evolução humana podem ser encontrados nos artigos, no texto e nos *sites* abaixo (acessos em: 7 abr. 2016):

WONG, K. A filha de Lucy. *Scientific American Brasil*. n. 56, jan. 2007, p. 48-53.

Revista Scientific American Brasil. Como nos tornamos humanos. A evolução da inteligência. *Scientific American Brasil*. Duetto Editorial, n. 17, novembro de 2006.

<www.talkorigins.org/faqs/homs/>

<www.handprint.com/LS/ANC/evol.html>.

Uma menina chamada Selam

Em 2006, a revista norte-americana *Nature* publicou o relato de uma importante ocorrência na história dos estudos em evolução humana: a descoberta, na Etiópia, de várias partes de mais um esqueleto de hominídeo que parece estar na origem da linhagem dos seres humanos atuais.

O estudo dos ossos indicou tratar-se de uma menina que deve ter vivido até os 3 anos

de idade há cerca de 3 milhões e 300 mil anos. A menina foi chamada de Selam, que significa paz no idioma etíope.

Selam é mais um fóssil da espécie *Australopithecus afarensis*, que ganhou notoriedade como Lucy, nome com que foi batizado o primeiro esqueleto fóssil descoberto dessa espécie, em 1974, que viveu há cerca de 3,18 milhões de anos e pode ser um ancestral da linhagem que deu origem à espécie humana.

O estudo do fêmur de Selam indica que a garota podia andar em posição ereta, mas a análise de sua escápula, seus braços e seus longos e encurvados dedos indica que ela também podia se deslocar por via aérea, pendurando-se em ramos de árvores. Essas características também estão presentes em Lucy e em outros restos fósseis de *Australopithecus afarensis*.

Fontes de pesquisa: ALEMSEGED, Z. et al. A Juvenile Early Hominin Skeleton from Dikika, Ethiopia. *Nature*, v. 443, n. 7109, p. 296-301, 2006.

O boxe *Biologia e ética* (p. 166) lembra que não se pode atribuir todas as características do ser humano à evolução, uma vez que nossa espécie não está sujeita apenas à evolução biológica, mas também à cultural, chamando também a atenção para os limites da ciência. O professor pode fechar o estudo da evolução com uma pergunta do tipo: "Um estudante disse que não houve evolução na Terra, afirmando que, embora muitas espécies tenham sido extintas, cada uma surgiu há muito tempo, de modo independente das outras e que não há nenhum parentesco evolutivo entre elas. Que argumentos você usaria para rebater essa afirmativa?".

Espera-se que o aluno tenha compreendido que ele poderá apresentar várias evidências da evolução, como as semelhanças anatômicas, embriológicas e moleculares entre grupos de seres vivos, as sequências de fósseis, etc.

O professor também pode retomar o tema abordado no Capítulo 10, que defende a ideia de que, do ponto de vista biológico, não faz sentido falar em raças na espécie humana, aproveitando sempre para combater quaisquer tipos de discriminação.

A evolução da espécie humana é um tópico em que as novidades surgem com muita rapidez. Por isso, também pode ser pedida uma pesquisa em grupo sobre as principais características dos fósseis de possíveis antepassados da espécie humana e de outros parentes evolutivos próximos, possibilitando que os alunos se aprofundem e se atualizem um pouco mais sobre esse tópico. A pesquisa pode incluir, por exemplo, os fósseis descobertos mais recentemente como o *Orrorin tugenensis*, o *Homo floresiensis*, o *Sahelanthropus tchadensis* e o *Ardipithecus ramidus*, entre outros.

CAPÍTULO 13: O campo de estudo da Ecologia

O objetivo desse capítulo é apresentar alguns conceitos básicos de Ecologia (população, comunidade, ecossistema, etc.), necessários para a compreensão dos assuntos tratados nos capítulos seguintes.

As questões que iniciam o capítulo ajudam o professor a avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre o conceito de Ecologia.

O texto abaixo chama a atenção para um dos problemas centrais dessa Unidade e do mundo de hoje: a diminuição de biodiversidade do planeta, um tema que foi trabalhado também em vários capítulos do segundo Volume desta Coleção.

Muriqui e onça-pintada

O muriqui, também chamado mono-carvoeiro, é o maior primata das Américas. Vive na mata Atlântica (floresta tropical que acompanha o litoral brasileiro), nas partes altas das árvores, em bandos de cerca de vinte indivíduos, e se alimenta de folhas, frutas e flores. Na língua tupi, muriqui significa "gente tranquila", pois não costuma haver agressão entre seus membros.

Estudos recentes indicam que há duas espécies distintas: *Brachyteles arachnoides*, encontrada em São Paulo, no Rio de Janeiro e em parte do estado do Paraná, e *Brachyteles hypoxanthus*, em Minas Gerais, Espírito Santo e sul da Bahia.

A onça-pintada (*Panthera onca*) é o maior felino das Américas. É encontrada em áreas de vegetação densa de florestas tropicais, cerrados e do pantanal. De hábitos noturnos e solitária, caça mamíferos (capivaras, tatus, preguiças, cutias), aves e répteis (tartarugas, jacarés). Alguns indivíduos com pelagem escura,

conhecidos como onças-pretas ou panteras, são variedade da mesma espécie. Também é chamada de jaguar, que em tupi significa "o que mata com um salto".

A sobrevivência desses animais está ameaçada pela caça e pela destruição dos ecossistemas em que vivem.

O boxe *Biologia e História* (p. 173) aborda como, ao longo do tempo, as questões ambientais e a preservação do meio ambiente passaram a ser consideradas relevantes para a humanidade.

Para avaliar e trabalhar os conhecimentos dos alunos sobre os conceitos de população, comunidade e ecossistema, o professor pode solicitar a eles que tragam revistas, livros ou artigos da internet em que apareçam representantes da fauna brasileira em seus ambientes naturais. A partir daí, pode lançar questões do tipo: "Que nome se dá ao conjunto de onças-pintadas que vivem em um mesmo lugar?"; "Que nome se dá ao conjunto de todos os seres vivos de uma floresta?"; "Como é chamado o conjunto formado pelos seres vivos e sua interação com o ambiente físico em que vivem?".

A questão 2 de **Atividades** permite avaliar a compreensão do estudante sobre os conceitos de *habitat* e nicho. A questão 3 permite que o estudante aplique os conceitos de *habitat* e nicho a animais brasileiros. A atividade avalia também o conhecimento do aluno sobre adaptações (presente na Unidade sobre evolução deste Volume). Os conceitos de *habitat* e nicho podem ser avaliados também pelas questões 5, 6 e 11.

O professor pode optar por realizar a atividade prática a seguir para familiarizar os alunos com a Ecologia, levando-os a desenvolver maior contato com a flora e a fauna da região onde moram.

Observação de um ecossistema

Nesta atividade, vocês devem se reunir em grupos para observar e estudar um ecossistema, que poderá ser o jardim da casa de algum dos componentes do grupo, ou de um parente, um trecho de jardim público, ou o próprio jardim da escola. Para realizá-la são necessários os seguintes materiais:

- caderno de desenho ou folhas de desenho em uma prancheta;
- caneta, lápis preto e borracha.

1. Observem o ambiente e façam uma descrição resumida de seus componentes.
2. Descrevam a presença ou ausência de árvores e de outras plantas.
3. Identifiquem o meio em que as plantas estão (canteiros, nas frestas de uma calçada, etc.).
4. Observem se há passagens entre os canteiros.
5. Caracterizem o solo do jardim: ele é úmido ou seco? Qual a origem da água que esse solo recebe (rega, chuva ou ambos)? Há alguma fonte, ou outro tipo de irrigação?
6. Em silêncio e imóveis, observem por alguns minutos e anotem: que aves frequentam o jardim? Há algum sinal de que essas aves habitam o local? Ou elas estão apenas de passagem? No momento da observação, elas estavam se alimentando? Em caso afirmativo, o que comiam?

Com base nas observações e nos desenhos, respondam:

a) Quais os elementos físicos desse ecossistema?
b) Que tipo de seres vivos foram encontrados?
c) Quantas espécies de plantas e de animais vivem nesse ecossistema? Quantas populações?

Em classe, o professor e os alunos podem analisar as observações registradas e discutir as respostas das questões.

CAPÍTULO 14: Cadeias e teias alimentares

Antes de trabalhar o conceito de cadeia alimentar, o professor pode verificar se os alunos já dominam os conceitos de fotossíntese e respiração celular, apresentados no primeiro Volume desta Coleção. Para isso, pode propor perguntas do tipo: "Como as plantas conseguem os açúcares presentes em seu corpo?" e, em relação ao conceito de respiração, pode questionar: "Por que plantas e animais respiram?".

O professor deve ficar atento também para concepções do tipo "A fotossíntese é a respiração das plantas" ou "As plantas só respiram à noite", trabalhadas no primeiro Volume desta Coleção. É importante saber se os alunos compreendem que: fotossíntese e

respiração são processos distintos; que as plantas realizam respiração continuamente, de dia e de noite e que as plantas utilizam na respiração parte dos açúcares que produziram na fotossíntese.

Além das questões que abrem o capítulo, os conceitos de cadeia e de teia alimentar podem ser introduzidos com outra série de perguntas: "Por que dependemos do Sol?"; "Por que uma população de ratos aumentou depois que muitas serpentes do local foram mortas?"; "Por que os sais minerais não se esgotam do solo nos ecossistemas naturais?" e "Que problemas os plásticos e os metais pesados causam na cadeia alimentar?". Esta última questão permite estabelecer a ligação entre a cadeia alimentar e os desequilíbrios ecológicos, contribuindo para despertar no aluno uma atitude responsável em relação à preservação do ambiente e à necessidade da reciclagem.

Outro questionamento possível é: "Por que podemos dizer que a produção de manteiga depende, em última análise, da luz do Sol?". Para ajudar os alunos, o professor pode fazer perguntas intermediárias, que poderão servir como pistas para os alunos, tais como: "De que é feita a manteiga?"; "Qual o alimento da vaca?"; "Qual a origem desse alimento?". Essa estratégia pode ser usada sempre que os alunos tiverem dificuldade em responder às questões que exigem um raciocínio mais complexo.

O texto a seguir faz uma conexão entre teias alimentares e destruição da biodiversidade, podendo ajudar a compreender que a extinção de uma espécie pode levar à extinção de muitas outras espécies que dependem dela.

As teias alimentares e a extinção das espécies

Uma das maiores preocupações ecológicas de nossa época é a destruição da biodiversidade, isto é, da variedade de seres vivos existentes em determinado lugar ou no planeta como um todo.

Toda espécie faz parte de uma teia alimentar e sua extinção pode provocar desequilíbrios ecológicos e até mesmo a extinção de outras espécies. Por exemplo, o desaparecimento de uma espécie de borboleta de Cingapura ocorreu depois que as videiras que serviam de alimento para suas larvas se extinguiram.

No cálculo de alguns pesquisadores, a extinção de cerca de 6 mil plantas levaria ao desaparecimento de mais de 4 mil espécies de besouros e de mais de cem espécies de borboletas. A perda de cerca de mil espécies de pássaros provocaria a extinção de mais de trezentas espécies de vermes e de cerca de duzentas espécies de ácaros (o grupo dos carrapatos).

Além de possíveis desequilíbrios ecológicos, com a extinção de espécies perdemos muitas substâncias químicas que poderiam ser usadas na fabricação de medicamentos e outros produtos. E as espécies selvagens permitem também produzir espécies mais produtivas ou mais resistentes, provenientes de cruzamentos com espécies domésticas ou da transferência de genes pelas técnicas de engenharia genética.

O estudo das espécies aumenta nosso conhecimento acerca da natureza – e qualquer conhecimento pode vir a ter aplicações práticas inusitadas e importantes.

O estudo da decomposição ajuda o aluno a compreender que, embora algumas espécies de bactérias e fungos possam causar doenças no ser humano, outras são importantíssimas para manter o equilíbrio nos ecossistemas. O professor pode explorar a figura 14.2 para discutir a decomposição. Essa é uma oportunidade, entre várias, de ajudar o aluno a perceber a importância da preservação dos seres vivos e do ambiente em que vivem.

Neste e em outros capítulos são feitas conexões de tópicos da Ecologia com o problema da poluição e dos desequilíbrios ecológicos ligados a esses temas. No caso das teias alimentares, a conexão é com o acúmulo de produtos não biodegradáveis, a magnificação trófica e os desequilíbrios causados pela morte de algumas populações que participam da teia alimentar. O item 4 do texto (p. 182) e o boxe *Biologia e ambiente* (p. 183) apresentam vários exemplos desses problemas. Além disso, o professor pode despertar a curiosidade dos alunos por meio de perguntas do tipo: "Por que você acha que uma população de ratos cresceu tanto depois que muitas serpentes foram mortas?". A questão 5 de **Atividades** também trata desses temas.

A esse respeito, o professor pode acrescentar que em vários países o uso do DDT na agricultura foi proi-

bido. No Brasil, a Lei n. 11 936 (de 14 de maio de 2009) proíbe a fabricação, a importação, a exportação, a manutenção em estoque, a comercialização e o uso do DDT em todo o território nacional. Em outros países, o DDT é liberado, sob certas condições, para o controle de algumas doenças, como a malária. Em certas regiões dos Estados Unidos, por exemplo, o DDT chegou a ser detectado no leite humano.

O **Trabalho em equipe** trata de algumas das questões abordadas no capítulo e que apresentam bastante relevância atualmente, por suas consequências ao ambiente e aos seres vivos, como a poluição por substâncias químicas não biodegradáveis (um tópico que pode ser trabalhado em conjunto com professores de Química). O segundo item pede uma pesquisa interdisciplinar sobre o trabalho de valor histórico para a conservação ambiental da bióloga Rachel Carson e de seu livro *Primavera silenciosa*.

CAPÍTULO 15: Populações

É de se esperar que o estudo das populações desperte no aluno a curiosidade em relação ao crescimento da população humana. Esse importante tópico é discutido no capítulo. Trata-se, porém, de um assunto que é discutido também nas disciplinas de Geografia, História e Sociologia. Por isso, é recomendável que esse assunto seja abordado de forma interdisciplinar, com os professores dessas disciplinas. Isso é importante para evitar que os alunos reduzam esse processo a fatores biológicos apenas. A seção **Trabalho em equipe** pede justamente duas pesquisas interdisciplinares sobre esse tópico.

O estudo da população humana pode ser objeto também de um trabalho interdisciplinar com a Matemática. Além disso, com auxílio de professores de várias disciplinas (Biologia, Geografia, História, Sociologia, Matemática, etc.), os alunos poderão pesquisar os dados atuais sobre vários tópicos sobre a população mundial e brasileira: taxa de crescimento e fecundidade, expectativa de vida, envelhecimento populacional, mortalidade infantil, índice de desenvolvimento humano, renda *per capita*, desigualdade social, etc.

O professor deve chamar a atenção para o fato de que apenas 20% da população mundial – os países desenvolvidos – consome 80% dos recursos naturais (alimentos e matérias-primas) e que a má distribuição de renda e os hábitos de consumo das nações ricas são também questões importantes, que precisam ser resolvidas para que se possa garantir um padrão de vida adequado a todos os habitantes do planeta.

O texto abaixo faz uma conexão entre o conteúdo do capítulo e um tema que será estudado no Capítulo 20: a introdução de espécies invasoras.

O caso dos coelhos na Austrália

Em meados do século XIX, alguns coelhos selvagens foram levados da Inglaterra para a Austrália para serem usados em caçadas. Na Europa, as populações de coelhos eram naturalmente controladas por diversos predadores e parasitas. Na Austrália, não existiam tantas espécies que atacassem os coelhos, e eles se reproduziram rapidamente, chegando a atingir mais de 200 milhões de indivíduos, que passaram a destruir as plantações e as pastagens.

Muitas tentativas foram feitas para diminuir a população de coelhos, até que em 1950 foi introduzido um vírus transmitido por mosquitos que lhes causou uma doença mortal. O número de coelhos caiu, mas havia alguns resistentes ao vírus, e, aos poucos, a população voltou a crescer, embora sem atingir níveis tão altos quanto os anteriores. Em 1996, outro tipo de vírus passou a ser usado contra os coelhos, e o número voltou a cair. Novamente, nem todos foram atacados.

Desse modo, o coelho ainda é considerado uma praga na Austrália e até hoje são pesquisadas medidas mais eficientes para controle dessa população.

CAPÍTULO 16: Relações entre os seres vivos

Mais importante que memorizar os nomes das várias relações entre os seres vivos, é compreender que elas não se resumem à cadeia alimentar e que também há inúmeros exemplos de relações de cooperação na natureza. Para isso, o professor pode começar o estudo do capítulo com perguntas como: "Por que as árvores de um pomar produziram menos frutos depois da aplicação de inseticidas?". O aluno deve compreender também que não há "vilões da natureza": o extermínio de um predador pode provocar desequilíbrios que acabam afetando outros seres vivos, até mesmo suas presas. Para isso, o professor pode promover reflexões do tipo: "O que poderia acontecer com boa parte da vegetação de determinado ambiente se todos os predadores dos animais herbívoros fossem eliminados?".

O professor pode lembrar, por exemplo, que a grande maioria das espécies de morcegos alimenta-se de frutas, insetos ou néctar. Morcegos que se alimentam de néctar contribuem para a polinização das plantas; os que se alimentam de frutas contribuem para a dispersão de sementes; os que comem insetos ajudam no controle de pragas ou de insetos transmissores de doenças. O controle da população de insetos é feito também por sapos, lagartixas e outros animais.

É interessante também trabalhar com os alunos o conceito de que as associações entre seres vivos não são estáticas. Uma associação pode começar com uma troca de favores ocasionais e evoluir para uma situação de dependência maior entre os organismos. Por exemplo, um comensalismo pode evoluir para um mutualismo – mas pode também caminhar para um parasitismo.

O professor deve chamar a atenção do aluno para o fato de que na natureza não há apenas associações desarmônicas, como competição, predatismo, parasitismo: há também associações em que ambos os componentes se beneficiam, e que isso ocorre tanto entre indivíduos da mesma espécie como de espécies diferentes. Há vários exemplos de mutualismo, além dos mencionados no texto, que podem ser explorados, como o do texto a seguir.

Acácias e formigas

Muitas plantas produzem substâncias químicas tóxicas que as protegem de herbívoros. Sem essa defesa, os animais herbívoros poderiam comer suas folhas, o que diminuiria a velocidade de crescimento da planta e ela ficaria à sombra de outras árvores sem receber iluminação adequada.

Uma espécie de acácia (*Acacia cornigera*) encontrada no México e na América Central, desprovida dessa defesa química, abriga em seu interior uma espécie de formiga (*Pseudomyrmex ferruginea*) que cava buracos na base dos espinhos e ali instala um formigueiro. Além de conseguir abrigo, as formigas alimentam-se do néctar e de outras substâncias produzidas pela planta com a única função de alimentá-las. Em troca, as formigas atacam insetos e animais herbívoros que tentam comer as folhas da planta.

O texto a seguir chama a atenção para a importância do mutualismo para o equilíbrio ecológico.

A importância do mutualismo

Como seria a vida na Terra se não houvesse mutualismo algum, obrigatório ou facultativo?

A maioria das plantas ficaria muito prejudicada pela ausência de fixação de nitrogênio e das micorrizas.

Não poderiam sobreviver também as plantas que dependem do transporte de pólen por animais polinizadores. Muitas vezes, um agente polinizador é específico e alimenta-se apenas de um tipo de planta. Esse sistema de "polinização dirigida" não permite apenas economia na produção de grãos de pólen, mas também facilita a fecundação cruzada entre duas plantas distantes. Então, não apenas as plantas, mas os animais polinizadores, como as abelhas e borboletas, também seriam afetados. E muitas angiospermas dependem ainda de animais que comem seus frutos e promovem a dispersão das sementes.

Os corais e seus recifes dependem do mutualismo para sua sobrevivência, uma vez que esses organismos associam-se a algas unicelulares que lhes fornecem boa parte dos nutrientes.

Como poderiam sobreviver também os vários animais herbívoros que dependem da associação com microrganismos para digerir a celulose?

Finalmente, lembre-se de que na história da vida, mitocôndrias e cloroplastos surgiram por um mutualismo entre organismos unicelulares, a endossimbiose. Sem essa associação, talvez as células eucarióticas não existissem.

Para complementar as relações, podemos pedir pesquisas sobre outras relações, como o canibalismo e a antibiose. O texto abaixo dá subsídios para essa conversa e faz também uma conexão com o aquecimento global.

Outros tipos de relações ecológicas

Algumas vezes um animal mata e devora outro da mesma espécie, fenômeno denominado canibalismo.

Entre alguns insetos, os animais mais fracos ou doentes são devorados pelos sadios. Algumas aranhas fêmeas devoram o macho

após o ato sexual. Na falta da presa costumeira, alguns peixes predadores podem comer os indivíduos mais jovens. Às vezes, os machos de alguns primatas e os leões matam e comem os filhotes que não são deles; por exemplo, um novo leão pode matar os filhotes de menos de um ano que as fêmeas tiveram com o leão anterior. Quando isso acontece, a fêmea entra no período fértil mais cedo.

O canibalismo ocorre também em populações de anfíbios que se desenvolvem em poças de água de curta duração, caso em que é importante completar a metamorfose antes que a poça seque. O resultado é que os animais que amadurecem mais rápido devoram os mais jovens, conseguindo assim comida para acelerar seu desenvolvimento.

A aranha popularmente conhecida como viúva-negra, logo após o acasalamento, devora o macho e, quando há falta de alimento, ratos podem comer seus próprios filhotes.

Em 2006, no Alasca, pesquisadores observaram um caso inédito de canibalismo: um grupo de ursos-polares machos matou e devorou duas fêmeas, um filhote e um macho jovem. Os ursos-polares alimentam-se principalmente de focas, e os pesquisadores acham que o aquecimento global, que fez diminuir em 20% a calota polar ártica nos últimos trinta anos, reduziu o território de caça desses animais. A falta de alimento teria provocado o canibalismo. Segundo algumas previsões, esses ursos podem estar extintos em vinte anos.

No amensalismo, uma espécie é prejudicada sem que a outra seja afetada. O caso mais comum é o da destruição de plantas, insetos e pequenos animais do solo quando animais grandes – uma manada de búfalos ou de elefantes, por exemplo – passam.

Outro caso ocorre durante o fenômeno da maré vermelha, proliferação excessiva de certas espécies de algas unicelulares (do grupo dos dinoflagelados), que dá à água coloração avermelhada. Essas algas produzem toxinas que podem provocar a morte dos peixes que as ingerem ou que se alimentam do zooplâncton (a toxina concentra-se ao longo da cadeia alimentar). Esse fenômeno costuma ocorrer na primavera e no verão, quando a proliferação das algas é muito maior que seu consumo pelo zooplâncton, ou quando o ecossistema aquático recebe excesso de nutrientes.

O eucalipto, entre outras plantas, produz substâncias que inibem o desenvolvimento de outras plantas próximas a ele. Por isso há sempre um espaço vazio entre uma árvore de eucalipto e outra. Essa interação é também chamada de alelopatia (do grego *allelon* = um e outro; *pathos* = prejuízo).

Alguns autores consideram amensalismo a produção de antibióticos por certos fungos. Essas substâncias inibem o crescimento de bactérias, o que tem sido amplamente empregado na Medicina para o combate a infecções. Nesse caso, o fenômeno pode ser chamado também de antibiose.

O esclavagismo pode ser considerado uma forma de parasitismo que ocorre em algumas espécies de formigas, como a formiga-sanguinária. Elas atacam outras espécies de formigas e capturam suas larvas e pupas. Depois que crescem, as formigas capturadas passam a trabalhar como operárias, procurando comida para alimentar as formigas-sanguinárias.

Outra forma de parasitismo, chamada de parasitismo social ou de ninhada, ocorre com algumas espécies de cucos, pássaros que depositam os ovos no ninho de outra espécie para que esta os crie. Esses ovos são muito parecidos com os da espécie hospedeira, mas, à medida que se desenvolve, o filhote torna-se diferente. Mesmo assim, continua a receber alimento da sua "mãe adotiva".

O texto a seguir pode ser usado pelo professor para discutir uma importante forma de comunicação entre insetos sociais: a produção de feromônios.

Os feromônios

Os feromônios (do grego *féros* = o que transporta; *hormon* = estimulante) são substâncias eliminadas por um organismo que produzem mudanças de comportamento em outros organismos da mesma espécie, promovendo uma comunicação entre os indivíduos. Os feromônios

sexuais, por exemplo, provocam a atração entre macho e fêmea.

Há feromônios que funcionam como sinal de alarme, que facilitam a localização de alimento, que ajudam os membros de uma sociedade a se reconhecer e a identificar estranhos.

Na sociedade das abelhas há feromônios que inibem as operárias de criar novas rainhas; se a rainha morre ou se a sociedade fica muito grande (podendo chegar a 80 mil insetos), a quantidade de feromônio diminui e as operárias começam a alimentar larvas com geleia real para que se tornem rainhas.

Os feromônios podem ser sintetizados em laboratório e usados para atrair insetos que atacam as plantações para armadilhas ou para atrair os predadores desses insetos. A vantagem é que, ao contrário dos pesticidas, o uso de feromônios não atinge outros animais nem traz risco para a saúde dos consumidores e agricultores.

A alimentação das formigas varia muito de espécie para espécie. No caso da saúva, ela mastiga pedaços de folhas, mistura-os com saliva e forma pequenos bolos esponjosos, sobre os quais se desenvolve um mofo (fungos), seu único alimento. Na fundação de um novo formigueiro, a rainha carrega na boca a pequena bola de mofo, que servirá para iniciar uma nova "horta".

A importância da cooperação também entre seres da mesma espécie, nas sociedades, deve ser acentuada pelo professor. Um bom exemplo para comentar com os alunos é o caso dos morcegos-vampiros, mencionado no texto (p. 200), em que um indivíduo compartilha parte do sangue que ingeriu com outro que não conseguiu alimento. Para saber mais sobre esses morcegos, o professor pode consultar o artigo a seguir:

BERNARD, E. Morcegos-vampiros: sangue, raiva e preconceito. *Ciência Hoje*. Rio de Janeiro, v. 36, n. 214, abril de 2005, p. 44-49.

O professor pode discutir também que a cooperação social deve ter sido importante para a sobrevivência de nossos ancestrais humanos e que, além disso, podemos estimular de forma consciente a cooperação entre os indivíduos.

O boxe *Biologia e ambiente* (p. 200), que discute os problemas causados pelos cupins nas residências, mostra como espécies fora de seu ambiente ecológico podem se transformar em pragas.

Esse capítulo permite fazer algumas conexões com a Unidade de evolução, neste mesmo Volume. O professor deve lembrar as consequências evolutivas da competição e do princípio da exclusão competitiva e de adaptações como a camuflagem e o mimetismo. O professor pode pedir ainda que, em grupo, os alunos pesquisem exemplos de adaptações entre presa e predador e entre parasita e hospedeiro entre os animais, como abordado no boxe abaixo.

Adaptações dos parasitas

A sobrevivência do parasita depende de uma série de adaptações, como órgãos de fixação (ventosas e espinhos), e grande capacidade de reprodução, o que compensa a alta mortalidade, principalmente quando o parasita passa do corpo de um hospedeiro para o de outro. Muitos parasitas são hermafroditas ou se reproduzem assexuadamente, o que também contribui para o seu sucesso reprodutivo, pois muitas vezes é difícil o encontro de dois parceiros sexuais.

Em geral, as características que não conferem nenhuma vantagem ao parasita estão atrofiadas. Os órgãos dos sentidos, os sistemas de locomoção e o aparelho digestório são rudimentares ou estão ausentes.

O boxe *Biologia e sociedade* (p. 209 e 210) discute as relações de diferentes culturas com o meio ambiente e estimula os alunos a valorizar a diversidade cultural do Brasil.

As questões 1, 11 e 13 de **Atividades** trabalham gráficos. Mesmo sendo gráficos simples, o professor deve observar se os alunos já dominam essa habilidade.

CAPÍTULO 17: Sucessão ecológica

O objetivo principal deste capítulo é que o estudante compreenda que as comunidades podem se alterar ao longo do tempo. Com isso, ele estará apto a compreender que a ação humana pode ter profundas consequências sobre o equilíbrio ambiental.

O capítulo também prepara o estudante para o estudo dos biomas, no Capítulo 19.

Ainda há muitas questões a serem respondidas no estudo da sucessão ecológica e muitos modelos foram desenvolvidos para explicar esse processo. O professor pode relembrar dois pontos aqui: primeiro, que a ciência se vale de modelos, isto é, de construções hipotéticas e simplificadas de processos complexos da natureza para tentar explicar os fenômenos. Essas construções, como é o caso dos modelos de sucessão ecológica, sofrem mudanças ao longo do tempo. O segundo ponto é que, em qualquer área da ciência, há sempre muitas questões sem respostas e muitos problemas a serem resolvidos, como é o caso, neste capítulo, da estabilidade de uma comunidade clímax.

Além dos livros de Ecologia indicados nas sugestões de leitura para o professor, podem ser consultados os seguintes *site*s (acessos em: 7 abr. 2016):
<www.ib.usp.br/ecologia/sucessao_ecologica_print.htm>
<www.countrysideinfo.co.uk/successn/index.htm> (em inglês).

O texto abaixo traz um exemplo de sucessão ecológica.

Mudanças na comunidade

Em 1988, após um período de seca severa, um incêndio destruiu uma grande área no Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos. Mas raízes e rizomas de algumas plantas sobreviveram e, aos poucos, originaram novas plantas. Com o tempo, sementes de plantas de lugares próximos, trazidas pelos ventos e por animais, germinaram. De início, apareceram pequenas plantas herbáceas no meio das árvores queimadas. Logo também surgiram mudas de plantas de maior porte, sobretudo pinheiros, que proliferaram, e muitos animais retornaram ao local.

Incêndios e outros fatores ambientais podem provocar transformações ao longo do tempo nas comunidades. Essas transformações, que podem ser muito lentas, constituem uma sucessão ecológica.

Alguns estudos indicam que as comunidades complexas são mais resistentes à invasão de outras espécies e à alteração dos fatores ambientais. Por exemplo, áreas de pradaria que abrigavam número maior de espécies perderam menos variedades vegetais e se recuperaram mais rapidamente após uma seca que pradarias com número menor de espécies (confira em R. E. Ricklefs, *A economia da natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010, p. 491; e D. Tilman, D. Wedin e J. Knops, Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nova York: *Nature*, n. 379, p. 718-720, 1996).

O boxe *Biologia e ambiente* (p. 217) discute a baixa complexidade encontrada nos cultivos agrícolas, o que poderia explicar sua suscetibilidade ao ataque de insetos predadores, por exemplo.

No entanto, embora alguns autores assumam que o aumento da diversidade de espécies e da complexidade das teias alimentares aumente a estabilidade da comunidade clímax, ainda não há consenso a esse respeito.

CAPÍTULO 18: Ciclos biogeoquímicos

Para motivar os alunos, o professor pode perguntar por que cada um de nós possui, no corpo, átomos que estiveram presentes no organismo de muitas pessoas do passado. A resposta permite recordar a reciclagem da matéria na teia alimentar, preparando uma discussão acerca da reciclagem da matéria nos ciclos biogeoquímicos. Neles, os átomos retirados da Terra pelos seres vivos (carbono, hidrogênio, oxigênio, etc.) terminam devolvidos a ela.

Nesse capítulo se optou por estudar também os desequilíbrios ecológicos provocados pelo ser humano em cada ciclo biogeoquímico.

No caso do ciclo do carbono, é importante mostrar ao aluno a diferença entre o efeito estufa e o aquecimento global, que vem a ser a intensificação do efeito estufa pelo ser humano, com o consequente aumento da temperatura do planeta.

O capítulo discute os possíveis desequilíbrios provocados pelo aquecimento global, como a subida do nível dos mares e a consequente inundação das áreas litorâneas, mudança no regime de chuvas e no clima, o que prejudica a agricultura e aumenta a proliferação de insetos transmissores de doenças.

Além desses problemas, um estudo de 2004 (C. D. Thomas e outros, Extinction risk from climate change, *Nature*, n. 427, p. 145-148, 8 jan. 2004) fez uma estimativa acerca da porcentagem de espécies que podem

entrar em extinção em função do aquecimento global. Os cientistas analisaram o efeito do aquecimento em 1 103 espécies de plantas e animais do Brasil, da África do Sul, da Europa, da Austrália, do México e da Costa Rica, cobrindo cerca de 20% da superfície terrestre (os oceanos não foram analisados). Com elevação acima de 2 °C até 2050, cerca de 35% do total de espécies estaria a caminho da extinção. Com elevação entre 1,8 °C e 2 °C, a porcentagem média seria de 24%. Com aumento entre 0,8 °C e 1,7 °C, o índice médio de extinção seria de 18%. Portanto, temos mais um argumento para a implementação de tecnologias que contribuam para diminuir a emissão de gás carbônico.

É importante o aluno entender que para se avaliar melhor se está havendo ou não um aquecimento global, as variações de temperatura devem ser observadas por um longo período de tempo, uma vez que vários fenômenos climáticos provocam há bastante tempo oscilações de temperatura. Por exemplo: o ano de 1998 foi excepcionalmente quente devido ao fenômeno El Niño (aquecimento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico, que influencia o clima de todo o planeta), enquanto o ano de 2008 foi mais frio. Então, se analisarmos apenas o início e o fim desse período, poderíamos concluir que a Terra está esfriando. Mas, se observarmos ao longo de um período bem maior, a conclusão é o oposto dessa ideia.

Para essas e outras previsões, os cientistas se valem, além das medidas recolhidas, de modelos matemáticos e simulações em computador. Como qualquer modelo, essas previsões têm uma margem de erro.

Nem todos os cientistas aceitam a tese do aquecimento global antropogênico. O texto a seguir ajuda a esclarecer essa polêmica.

O consenso

O IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change ou, em português, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) não realiza pesquisas, mas apenas faz uma compilação das pesquisas publicadas em revistas científicas. Para publicar um relatório, o IPCC faz uma compilação das pesquisas publicadas em revistas científicas, avaliando mais de 500 trabalhos científicos e milhares de séries de dados (alterações na temperatura, na concentração de gases-estufa, no volume de água líquida e de gelo, no comportamento de espécies animais e vegetais, etc.).

Nem todos os cientistas concordam com as conclusões do IPCC. Alguns contestam a tese de que a Terra está esquentando; outros discordam do fato de que esse aquecimento é provocado pelo ser humano. No entanto, a grande maioria dos estudiosos do clima, chamados climatologistas, afirma que há evidências suficientes para afirmar que, muito provavelmente, a temperatura média do planeta está aumentando e que esse aumento é antropogênico (do grego *ánthropos* = ser humano; *genos* = origem), isto é, derivado de atividades humanas. Uma pesquisa feita em 2010 com 1 372 cientistas que realizam pesquisas sobre mudanças climáticas mostrou que 97% a 98% deles estão de acordo com a tese de que o aquecimento global é antropogênico.

Algumas das críticas contra a tese do aquecimento global antropogênico que aparecem nos meios de comunicação não foram publicadas em revistas científicas especializadas e uma das exigências em relação ao conhecimento científico é que observações, experimentos e conclusões devem ser publicados na forma de artigos em revistas especializadas, para que possam ser testados, criticados e avaliados por outros cientistas antes da publicação.

Uma pesquisa realizada em 2012 indicou que apenas 24 entre 13 950 artigos publicados em revistas científicas (0,17% ou 1 em 581) ou rejeitam o aquecimento ou acham que outras causas, além do gás carbônico, estão presentes. A frequência com que esses artigos são citados na comunidade científica é muito menor do que a dos que aceitam o aquecimento.

A conclusão de um aquecimento antropogênico não é defendida apenas pelo IPCC, mas endossada pelas Academias de Ciências de vários países (Brasil, Canadá, França, Alemanha, Índia, Itália, Japão, Rússia, Estados Unidos, Inglaterra, entre outras) e por várias organizações que estudam o clima (NASA's Goddard Institute of Space Studies, Potsdam Institute for Climate Impact Research, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency, American Geophysical

Union, National Center for Atmospheric Research, Canadian Meteorological and Oceanographic Society, Australian Meteorological and Oceanographic Society, British Antarctic Survey, European Federation of Geologists, European Geosciences Union, International Union of Geodesy and Geophysics, entre outras).

Fontes de pesquisa: O relatório do IPCC de 2015 pode ser visto em (acesso em: 7 abr. 2016): <www.iniciativaverde.org.br//lib/php/download.php?cfg=1&arq=produtos/37_2015_05_04_relatorio_ipcc_portugues.pdf&mde=ProdItem&cod=37>.

No *site* abaixo há um pequeno livro em português (*O guia científico do ceticismo quanto ao aquecimento global*, de John Cook, com tradução de Alexandre Lacerda), que explica as evidências do aquecimento global e responde a várias críticas feitas por cientistas que não aceitam a tese do aquecimento global. O livro está disponível em:

<www.skepticalscience.com/docs/Guide_Skepticism_Portuguese.pdf>. (acesso em: 7 abr. 2016).

Outro livro, em português, sobre aquecimento global disponível na internet:

PINTO, Erika; MOUTINHO Paulo; RODRIGUES, Liana; FRANÇA, Flávia; MOREIRA, Paula; DIETZSCH, Laura. *Perguntas e respostas sobre aquecimento global*. 4. ed. Belém/Pará: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2009. Disponível em: <www.observatorioeco.com.br/wp-content/uploads/up/2011/02/perguntas_e_respostas_sobre_aquecimento_global.pdf> (acesso em: 7 abr. 2016).

Sobre as pesquisas de aceitação da tese do aquecimento global pelos cientistas e em artigos científicos (acessos em: 7 abr. 2016):

<www.pnas.org/content/107/27/ 12107.full>

<www.sciencemag.org/content/306/ 5702/1686.full.pdf>.

<http://scienceprogress.org/2012/11/27479/>.

Para saber mais sobre o aquecimento global podem ser consultados os *sites* (acessos em: 7 abr. 2016):

Em português:

<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br>

<www.forumclima.org.br/index.php/ sobre-as-mudancas-climaticas/perguntas-frequentes>

<www.mct.gov.br/index.php/content/view/77650.html>

<http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2012/293/pdf_aberto/entrevista293.pdf>.

Em inglês:

<www.skepticalscience.com/argument.php>

<www.ipcc.unibe.ch/publications/wg1-ar4/faq/wg1_faqIndex.html>

<www.desmogblog.com/>

<www.informationisbeautiful.net/visualizations/climate-change-deniers-vs-the-consensus>

<www.c2es.org/science-impacts/basics/faqs/climate-science>

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming>

<www.brighton73.freeserve.co.uk/gw/globalwarmingfaq.htm>

<www2.sunysuffolk.edu/mandias/global_warming>

<http://deepclimate.org>.

O boxe *Biologia e sociedade* (p. 226) aborda as mudanças climáticas e as reuniões intergovernamentais realizadas com o intuito de promover a discussão e adoção de medidas para redução das emissões de gás carbônico e outras medidas que possam diminuir o atual ritmo de aquecimento global.

Para se manter atualizado sobre esse tópico, é importante que o aluno faça a pesquisa de número 1 da seção **Trabalho em equipe**, que deve contar com o apoio do professor de Física. Ele deve apresentar os resultados da pesquisa para a classe e para a comunidade escolar, pois esse é um problema importante e de muito interesse para todas as pessoas, do Brasil e do mundo.

A segunda pesquisa trata de um problema que também merece atenção e atualização constante: a disponibilidade de água doce para as atividades humanas. As demais pesquisas ajudam o aluno a conhecer as fontes de energia de que dispomos e as possíveis alternativas em relação ao uso dos combustíveis fósseis. Essa atividade é de natureza interdisciplinar: os alunos também devem contar com o apoio dos professores de Geografia e Física, entre outros.

Como atividade adicional, o professor pode também exibir para os alunos (e para a comunidade escolar) o vídeo *Uma verdade inconveniente* (Paramount, 2006), baseado no livro de mesmo nome. Após a exibição do filme, pode ser aberto um debate sobre a questão do aquecimento global, se possível, com a presença de especialistas no assunto.

Sobre aquecimento global, além dos livros mencionados nas sugestões de leitura para o professor, também podem ser acessados os *sites* a seguir (acessos em 7 abr. 2016):

<www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas>

<www.ipcc.ch> (em inglês, francês ou espanhol).

<www.mma.gov.br/>

<www.comciencia.br/reportagens/clima/creditos.htm>.

Na seção **Atividades**, há várias questões que tratam do aquecimento global (questões 3, 5, 10 e 13).

Em relação ao ciclo do oxigênio, devem ser enfatizadas as consequências da destruição da camada de ozônio e as medidas adotadas em relação ao problema (o Protocolo de Montreal).

Ao estudarem o ciclo da água, os alunos devem compreender que, mesmo sendo um recurso renovável, as reservas de água potável são escassas,

distribuídas de forma irregular e, com o aumento do consumo e da poluição, elas podem escassear e até esgotar-se. A escassez de água é discutida no boxe *Biologia e ambiente* (p. 230).

Depois de trabalhar o ciclo do nitrogênio, o professor pode perguntar aos alunos qual a vantagem de se alternar o plantio de arroz, milho ou trigo, por exemplo, com o plantio de uma leguminosa. Dessa forma, o aluno poderá compreender que, enquanto a maioria das plantas retira nitrogênio do solo, que terá de ser reposto por meio de fertilizantes, as leguminosas, por meio de bactérias que vivem em suas raízes, repõem o nitrogênio no solo. As questões 1, 4, 12 e 18 de **Atividades** podem ser usadas com a mesma finalidade.

Se achar apropriado, o professor pode pedir aos alunos que realizem, em grupo, uma pesquisa sobre os ciclos do cálcio e do fósforo na natureza.

De modo geral, esses ciclos são muito semelhantes entre si e envolvem trocas entre as rochas, a água e os seres vivos. No entanto, eles não têm envolvimento direto da atmosfera, como os da água, do carbono, do oxigênio e do nitrogênio.

No caso do cálcio, os sais de cálcio dissolvidos no solo ou na água são absorvidos por vegetais ou ingeridos direta ou indiretamente pelos animais e participam da formação do corpo deles. Parte dos sais é retirada do solo ou das rochas pelas chuvas e levada para os rios e mares, onde pode ser ingerida por animais aquáticos e empregada na fabricação de esqueletos, conchas e carapaças. Após a morte desses animais, essas estruturas se decompõem e os sais de cálcio dissolvem-se na água e podem ser aproveitados por outros seres. Em alguns casos, ocorre sedimentação e formam-se rochas de calcário; nesse caso, a volta do cálcio ao ciclo é muito mais lenta, pois depende da erosão do calcário que aflora à superfície.

No caso do fósforo, esse elemento aparece principalmente na forma de fosfato, obtido da dissolução das rochas. Com o fosfato, os vegetais sintetizam compostos orgânicos, como os ácidos nucleicos. O fosfato é levado de volta para o solo por meio da excreção animal e da decomposição dos detritos orgânicos. Esse fosfato pode ser drenado gradualmente para o mar, onde se sedimenta e é incorporado às rochas. Depois, pode voltar para os ecossistemas terrestres por meio dos processos geológicos, como a elevação do leito do mar ou o abaixamento do nível das águas.

A fim de propiciar aos alunos a visualização de alguns dos ciclos biogeoquímicos, o professor pode propor como atividade prática a confecção de um terrário, como descrito a seguir.

Construção de um terrário

Esta atividade deve ser feita em equipe. Cada uma deve construir um terrário com o seguinte material:

- uma garrafa de refrigerante limpa com água, sabão e álcool;
- cascalho fino e areia;
- carvão vegetal em pó;
- terra adubada ou terra preta de jardim (não peguem a terra com a mão);
- fita isolante;
- mudas de plantas de pequeno porte como: violeta-africana, hera, avenca e begônia.

1. Peçam ao professor que corte a parte de cima da garrafa com a tampa (mas não a joguem fora; guardem para usar depois).

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

2. Despejem no fundo do recipiente uma fina camada (poucos centímetros) de cascalho fino e, depois, a mesma espessura de areia. Por cima, uma camada bem fina de carvão vegetal em pó.

3. Coloquem por cima de tudo um pouco de terra vegetal.
4. Umedeçam a terra.
5. Plantem algumas mudas. Juntem a metade superior (bem tampada) à inferior, unindo-as com fita isolante.

Luis Moura/Arquivo da editora

6. Deixem o terrário em um lugar bem iluminado (perto de uma janela, onde haja sol). Coloquem no recipiente uma etiqueta pequena com o nome das pessoas do grupo e a data em que foi montado o terrário.
7. Uma vez por semana observem o que está acontecendo e anotem em seus cadernos. Em princípio, não se deve abrir o terrário. Mas, ocasionalmente, pode-se abri-lo para retirar folhas mortas.

Depois de observar o terrário por algumas semanas, respondam às seguintes perguntas:

a) Como as plantas conseguem respirar dentro do recipiente fechado?
b) As plantas conseguiriam sobreviver se o terrário fosse colocado permanentemente em um lugar totalmente escuro? Justifiquem sua resposta.
c) Observem se as paredes do terrário ficam molhadas do lado de dentro. Como vocês explicam esse fenômeno?
d) O terrário pode ser considerado uma espécie de ecossistema em miniatura. Citem alguns componentes bióticos e abióticos do terrário.
e) Caso o terrário tenha sido mantido fechado até agora, expliquem por que não foi preciso regar as plantas.
f) Identifiquem as etapas do ciclo da água que estão ocorrendo no terrário.

Em classe, o professor e os alunos podem analisar as observações registradas e discutir as respostas das questões.

CAPÍTULO 19: Distribuição dos organismos

Este capítulo pode ser trabalhado em conjunto com o professor de Geografia.

Do mesmo modo, o **Trabalho em equipe** no fim do capítulo pode ser tratado de forma interdisciplinar, com auxílio de professores de Geografia e História. É importante que os alunos consigam informações atualizadas sobre os problemas ambientais que ameaçam os biomas brasileiros e que aumentem sua conscientização sobre esses problemas.

O boxe *Biologia e ambiente* (p. 242) destaca como, embora sejam altamente diversas e produtivas, as florestas tropicais geralmente apresentam solos pobres, não indicados para a agricultura.

O boxe *Biologia e História* (p. 249) traz um breve histórico da exploração da Mata Atlântica, um bioma dos mais diversos do planeta, o que ocasionou a extinção de inúmeras espécies e o quase total desaparecimento dessa floresta.

Pode ser feita uma conexão com o boxe *Biologia e ambiente* (p. 250), o qual aborda a desertificação dos solos como uma das consequências do desmatamento desenfreado.

O professor pode pedir também aos alunos que realizem uma pesquisa sobre atividades extrativistas que geram renda e trabalham de forma sustentável, preservando a biodiversidade local. Informações sobre esse tema podem ser acessadas em:

<www.ibama.gov.br/resex/historia.htm> (acesso em: 7 abr. 2016).

Uma descrição sucinta de alguns animais representativos da fauna brasileira pode ser vista em:

<www.zoologico.sp.gov.br/> (acesso em: 7 abr. 2016).

O boxe *Biologia e sociedade* (p. 243) apresenta a jequitiranoboia, um inseto presente em florestas tropicais na América Central e do Sul, inclusive no Brasil. O professor pode destacar a importância da pesquisa científica para o conhecimento da biologia das espécies, assim como a valorização das culturas de comunidades tradicionais no Brasil.

Para uma descrição dos ecossistemas brasileiros, ver:

<http://ecologia.ib.usp.br/> (acesso em: 7 abr. 2016).

O boxe *Biologia e ambiente* (p. 258) apresenta o risco a que estão submetidas as populações de organismos marinhos devido à superexploração pelo ser

humano, podendo causar desequilíbrios populacionais e até extinção de espécies.

O texto a seguir traz informações sobre o clima da Terra, a distribuição dos seres vivos no planeta e os fatores que podem afetá-lo.

A influência do clima

Entre os fatores que influenciam o clima de uma região estão a latitude (distância partindo da linha do equador), a altitude (elevação acima do nível do mar), a distância do mar, os movimentos das massas de ar, a topografia e a vegetação.

A quantidade de luz e energia que chega à superfície da Terra não é exatamente a mesma em todos os seus pontos. Em torno da linha do equador, a incidência dos raios solares é perpendicular ao solo, o que faz com que essa região receba mais luz e calor do que as regiões mais afastadas, onde os raios solares incidem mais inclinados. Quanto mais distante da linha do equador, mais inclinada é a incidência dos raios solares sobre a região. Isso faz com que a área atingida pelo feixe luminoso seja maior, mas diminui a concentração e a intensidade de luz e calor no local, o que resulta em um clima mais frio.

Além disso, o eixo imaginário da Terra é inclinado em relação ao plano da órbita de nosso planeta em torno do Sol. Por causa dessa inclinação, cada hemisfério do globo terrestre, alternadamente, fica mais exposto ao Sol durante uma parte do ano, recebendo uma quantidade maior de luz e calor. Quando o polo norte está inclinado para o Sol, o hemisfério norte é atingido mais diretamente pelos raios solares, recebe mais luz e calor e se aquece mais que o hemisfério sul. Nessa situação, é verão no hemisfério norte e inverno no sul, e os dias tendem a ser mais longos nas regiões mais ao norte da linha do equador do que nas regiões mais ao sul. Seis meses depois, é o hemisfério sul que recebe mais luz e calor. Nessa situação, é verão nele e inverno no hemisfério norte.

Há duas posições na órbita terrestre em que ambos os hemisférios são iluminados da mesma forma pelos raios do Sol. No hemisfério que acaba de passar pelo verão, é outono. A temperatura vai diminuindo, e a vida das plantas e animais se altera: as folhas das árvores começam a cair e alguns animais migram para outras regiões. No outro hemisfério é primavera: a temperatura começa a subir e muitas árvores voltam a ficar cobertas de folhas e flores.

Nas regiões próximas à linha do equador não há grande diferença no ângulo de incidência dos raios solares e, portanto, não ocorrem grandes variações climáticas ao longo do ano.

A variação da quantidade de luz e de calor nas diferentes partes do planeta, nas horas do dia e nas estações do ano, provoca também um aquecimento desigual na atmosfera e nos oceanos. O ar quente próximo ao equador desloca-se para camadas mais altas da atmosfera e esfria. Mais frio, desce e ocupa o lugar do ar que subiu (o processo é contínuo). Quando o ar aquecido sobe e se resfria, ocorrem as chuvas.

Os oceanos absorvem calor do ar, criando correntes marítimas quentes e frias e levando calor de um lugar a outro. As correntes de água quente originadas nas regiões tropicais dirigem-se para os polos, e as correntes frias dos polos movimentam-se para o equador.

CAPÍTULO 20: Poluição

O estudo da poluição precisa de constante atualização, daí a importância do **Trabalho em equipe** proposto no fim do capítulo. A atividade ajuda também a aumentar a conscientização sobre esse problema na cidade em que o aluno vive.

As questões relacionadas ao saneamento básico estão bastante presentes no cotidiano dos alunos. Nesse sentido, o boxe *Biologia e saúde* (p. 268 a 270) apresenta como são realizados os tratamentos de água e esgoto e medidas que podem ser adotadas individualmente para dar a correta destinação aos efluentes produzidos.

Em relação aos resíduos sólidos, além do item 4 desse capítulo, o professor pode abordar a impor-

tância de se dar a correta destinação a pilhas e baterias usadas, como abordado no boxe *Biologia e ambiente* (p. 278).

O aquecimento global, discutido no Capítulo 18, pode ser discutido novamente aqui. O professor pode lembrar, por exemplo, que, quando se fala nesse assunto, aparecem logo as consequências das mudanças climáticas, como secas, inundações e tempestades. Mas não se deve esquecer de outra consequência séria: a extinção de espécies.

Quanto à poluição sonora, o professor pode pedir aos alunos que pesquisem como está a situação das grandes cidades brasileiras em relação à poluição sonora, que medidas estão sendo tomadas e o que pode ser feito para controlar esse problema. Pode ser solicitado que eles expliquem os pontos principais da legislação sobre a poluição sonora nos centros urbanos (consultem, por exemplo, a resolução n. 272 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, entre outras a esse respeito).

O professor pode pedir uma pesquisa sobre a biorremediação (o uso de microrganismos, como bactérias e fungos, ou de seus componentes para eliminar a poluição do ambiente), como é o caso de algumas bactérias que podem ser usadas para transformar os produtos encontrados no petróleo em subprodutos menos danosos ao ambiente.

É muito importante destacar também que muitos dos recursos naturais utilizados na produção dos bens consumidos pelo ser humano não são renováveis. Sendo assim, a melhor maneira de evitar o esgotamento desses recursos, bem como reduzir o impacto associado a sua exploração é o consumo consciente, como discutido no texto a seguir.

Consumo e consciência

Em relação ao lixo, devemos pensar em 5 R's: REDUZIR a quantidade que produzimos; REUTILIZAR algo que já foi usado; RECICLAR, separando produtos, como latas de alumínio, que possam ser reciclados; REPENSAR nosso comportamento, avaliando se estamos sendo consumidores conscientes, com preocupação ecológica; RECUSAR produtos que agridam o meio ambiente ou, simplesmente, ao comprar algo, como uma revista, recusar um saco de plástico desnecessário ou preferir produtos com menos embalagens.

Além disso, na hora de comprar, você deve se perguntar se a compra é realmente necessária. Será que você precisa mesmo da última novidade que acabou de sair nas lojas? Quantas vezes já adquiriu uma coisa que outros tinham e depois se arrependeu?

Será que você não está apenas sendo levado pela propaganda ou apenas porque outros colegas compraram? Você tem certeza de que quem decide suas compras é você mesmo? Ou é a propaganda e a pressão do grupo?

O boxe *Biologia e ambiente* (p. 272 e 273) apresenta as consequências do rompimento da barragem de uma mineradora em Mariana (MG), no final de 2015, possibilitando uma discussão sobre os impactos, incluindo a poluição, e mudanças causados pela ação humana no planeta.

Uma das maiores preocupações ecológicas de nossa época é a diminuição da biodiversidade. Esse é um tema que deve ser reforçado pelo professor não apenas nesse capítulo, mas ao longo de todo o estudo da Biologia.

Um ponto frequentemente mencionado em defesa da preservação da biodiversidade é que, com a extinção das espécies, perdemos muitas substâncias químicas que poderiam ser potencialmente usadas na fabricação de medicamentos e de outros produtos importantes. Outro ponto é que as espécies selvagens servem também como um "banco genético" para a origem de novas espécies mais produtivas ou mais resistentes, provenientes de cruzamentos com espécies domésticas ou da transferência de genes pelas técnicas de engenharia genética. Finalmente, toda espécie faz parte de uma teia alimentar e sua extinção pode provocar desequilíbrios ecológicos.

O professor pode solicitar aos alunos que obtenham uma lista dos animais em risco de extinção no Brasil, destacando que medidas estão sendo tomadas para evitar esse problema e quais leis existem contra a biopirataria.

Para saber mais sobre biopirataria, o professor pode consultar:

<http://www.movieco.org.br/detalhe_biblioteca/7/biopirataria> (acesso em: 26 maio 2016).

Além disso, o professor pode chamar a atenção para considerações éticas (que direito temos de destruir outras espécies?) e estéticas (a perda da biodiversidade é também a perda da beleza da variedade da vida).

Muitas vezes os alunos fazem perguntas específicas sobre a necessidade de se preservar determinado organismo. O texto a seguir exemplifica o caso das baleias e dá uma ideia de alguns argumentos que podem ser usados nesses casos.

Por que preservar as baleias?

Por que espécies, como as baleias, devem ser preservadas, em vez de serem caçadas comercialmente, como desejam alguns países?

O argumento mais forte desses países para justificar a ação predatória é que as baleias, ao ingerirem grande quantidade de peixes, estariam prejudicando a pesca. Em primeiro lugar, isso não é verdadeiro, uma vez que a maioria das grandes baleias alimenta-se de plâncton. As outras espécies geralmente comem peixes não comerciais e situados fora da área de pesca (como na Antártida). Além disso, os principais predadores de peixes não são as baleias, mas outros peixes e a própria espécie humana: a diminuição dos peixes comerciais está sendo provocada, na realidade, pela exploração descontrolada promovida pelo ser humano.

Não podemos esquecer que qualquer espécie faz parte de uma teia alimentar e, portanto, sua extinção pode provocar desequilíbrios ecológicos, muitas vezes difíceis de serem antecipados – principalmente em relação a teias alimentares do ambiente marinho, que são pouco conhecidas. Assim, se um mamífero marinho que se alimenta de peixes predadores for extinto, pode haver um aumento desses predadores e uma diminuição dos peixes comerciais.

Temos muito a aprender com as baleias. Seu cérebro desenvolvido, a capacidade de comunicação social, o comportamento e as adaptações que permitem a esses grandes mamíferos (os maiores animais do planeta) sobreviver no meio aquático podem nos ajudar bastante a compreender melhor como um organismo funciona.

Em termos econômicos, a caça às baleias pode ser substituída com vantagem pelo turismo ecológico: por exemplo, na Islândia, a observação desses animais atrai milhares de pessoas por ano. No mundo, a renda desse turismo foi avaliada em cerca de 1 bilhão de dólares.

Fontes de pesquisa: WILSON, E. O. *O futuro da vida:* um estudo da biosfera para a proteção de todas as espécies, inclusive a humana. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

<www.whales.org.au/home.html> (acesso em: 7 abr. 2016).

Como atividade adicional, o professor pode pedir para os alunos elaborarem uma campanha para divulgar para a comunidade local a importância da preservação da biodiversidade. A campanha deverá ser feita com cartazes, folhetos e outros recursos (frases de alerta, letras de música, fotos, vídeos, etc.). Essa atividade servirá como um fechamento para um tema que foi abordado em vários pontos desta Coleção. Lembramos aqui o que está nas *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*[7]:

O ensino da Biologia deve enfrentar alguns desafios: um deles seria possibilitar ao aluno a participação nos debates contemporâneos que exigem conhecimento biológico. O fato de o Brasil, por exemplo, ser considerado um país megadiverso, ostentando uma das maiores biodiversidades do planeta, nem sempre resulta em discussões na escola de forma a possibilitar ao aluno perceber a importância desse fato para a população de nosso país e o mundo, ou de forma a reconhecer como essa biodiversidade influencia a qualidade de vida humana, compreensão necessária para que se faça o melhor uso de seus produtos.

Os *site*s a seguir, sobre poluição e problemas ambientais, podem ser consultados pelo professor (acessos em: 7 abr. 2016):

<www.lixoecidadania.org/>

<www.ibama.gov.br/>

<www.mma.gov.br/>

<www.cptec.inpe.br/>

<www.inmet.gov.br/>.

[7] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006, p. 17.

10 Respostas das atividades

Unidade 1

CAPÍTULO 1

1. A ideia ilustrada é a de que o espermatozoide conteria um indivíduo em miniatura, completamente formado; bastaria que ele crescesse e se desenvolvesse. A ideia está errada porque, com o aperfeiçoamento dos microscópios, podemos ver que não há nenhum indivíduo no espermatozoide: o que há são genes, que, juntamente com os genes do óvulo, vão orientar o desenvolvimento de um novo ser vivo.

2. a) A figura **1** é meiose, e a figura **2**, mitose. Na figura **1**, as células-filhas têm a metade dos cromossomos da célula original. Na figura **2**, o número de cromossomos não muda.

b) Dois pares.

c) Os cromossomos se duplicam.

d) As da figura **1** são **A** ou **a**. As da figura **2** são **Aa**.

3. Homólogos: **A** e **C**; **B** e **D**. Alelos: **1** e **5**; **2** e **6**; **3** e **7**; **4** e **8**.

4. a) Amarela, porque a autofecundação de ervilhas amarelas produz ervilhas verdes, o que não ocorreria se a cor amarela fosse uma característica recessiva.

b) Geração **P** - amarela: **VV**; verde: **vv**.
Geração $\mathbf{F_1}$ - amarela: **Vv**.
Geração $\mathbf{F_2}$ - amarelas: **VV** e **Vv**; verdes: **vv**.

5. a) **AA**: **A**; **Aa**: **A** e **a**; **aa**: **a**.

b) I. 100% **AA**; 100% com pele pigmentada.
II. 100% **aa**; 100% albinos.
III. 100% **Aa**; 100% com pele pigmentada.
IV. 50% **Aa** e 50% **aa**; 50% com pele pigmentada e 50% albinos.
V. 25% **AA**, 50% **Aa** e 25% **aa**; 75% com pele pigmentada e 25% albinos.

c) 50% com pele pigmentada (**Aa**) e 50% albinos (**aa**).

6. O emparelhamento dos cromossomos homólogos e a organização na região equatorial da célula fazem com que cada cromossomo homólogo se separe e migre para um polo da célula. Com isso, cada alelo de um par vai para gametas diferentes. Esse processo explica a separação dos fatores de Mendel.

7. Gametas não podem ser heterozigotos porque gametas são haploides, isto é, não há pares de cromossomos homólogos ou de alelos em um gameta.

8. Com uma planta que produza ervilhas verdes, porque se a ervilha for homozigota produzirá apenas ervilhas amarelas, já que verde é o caráter recessivo. Se a ervilha for heterozigota, produzirá ervilhas amarelas e verdes, na proporção de 50%.

9. Proporção genotípica: 25% **RR**; 50% **Rr**; 25% **rr**.

Proporção fenotípica: 75% sementes lisas; 25% sementes rugosas.

♀ \ ♂	Rr R	Rr r
R	RR	Rr
r	Rr	rr

10. Os fatores correspondem aos alelos de um gene porque são eles que influenciam um caráter hereditário. O processo corresponde à meiose, porque é nesse processo que os alelos se separam na formação dos gametas.

11. a) Sendo ambos os pais heterozigotos (**Aa**), os possíveis descendentes e suas probabilidades são, respectivamente: 1/4 **AA**, 2/4 **Aa** e 1/4 **aa**. Portanto, a probabilidade de o genótipo da primeira criança ser igual ao de seus pais (**Aa**) é igual a 1/2.

b) Considerando que a probabilidade de uma criança, filha desse casal, ser fenilcetonúrica (**aa**) seja de 1/4, a probabilidade de as duas primeiras crianças apresentarem a doença será de $1/4 \times 1/4 = 1/16$.

c) A probabilidade de uma criança ser uma menina saudável é de: 1/2 (probabilidade de ser menina) $\times$ 3/4 (probabilidade de ser **A _**), ou seja, 3/8. Essa probabilidade não é afetada pelo fato de terem nascido, anteriormente, dois meninos com a doença.

d) Tendo a primeira criança nascido clinicamente normal (**A_**), seus possíveis genótipos e as respectivas probabilidades serão: **AA** = 1/3 e **Aa** = 2/3. Portanto, a probabilidade de a criança não possuir o alelo **a** é de 1/3.

12. Alelos: **a** (chifres) e **A** (sem chifres)
Macho sem chifres: **Aa**.
Cabra 1 com chifres: **aa**.
Cabra 2 com chifres: **aa**.
Cabra 3 sem chifres: **Aa**.

13. a

14. c

15. 01 + 08 = 09

16. c

17. a

18. a

19. b

20. 02 + 08 + 16 = 26

21. a

22. c

23. b

Trabalho em equipe

1. Às vezes, apesar de um genótipo para determinada característica estar presente, ele não se manifesta em todos os indivíduos. Cerca de 20% dos indivíduos que têm o alelo dominante para retinoblastoma (tumor maligno na retina), por exemplo, não manifestam a doença. Dizemos então que esse alelo apresenta penetrância incompleta.

   A penetrância é a porcentagem de indivíduos com determinado alelo que apresenta o fenótipo determinado por esse alelo. No caso do retinoblastoma, a penetrância do gene é de 80%. Também é de cerca de 80% a penetrância do alelo de enrolar a língua em U. Alguns alelos apresentam penetrância completa, isto é, todos os indivíduos que possuem o alelo apresentam a característica; é o caso da acondroplasia.

   Às vezes, a manifestação de um fenótipo difere em indivíduos que apresentam o mesmo genótipo.

   Nesse caso, diz-se que o fenótipo tem expressividade variável. A expressividade é a intensidade com que um alelo se expressa no fenótipo. Por exemplo, o alelo para polidactilia (dedos extras) tem expressividade variável, e o indivíduo pode apresentar apenas o broto de um dedo extra ou dois ou três dedos extras.

   A presença de manchas na pelagem de vários mamíferos também apresenta expressividade variável. Um alelo dominante determina pelagem homogênea e o alelo recessivo, quando em dose dupla, produz pelagem manchada, com áreas com e sem pigmento.

   A distribuição das manchas, porém, varia entre os indivíduos recessivos. A penetrância incompleta e a expressividade variável tornam mais difícil a análise de heredogramas humanos e as previsões em uma consulta genética, pois nem sempre a pessoa portadora de um alelo deletério terá a doença e, mesmo que a tenha, a intensidade poderá ser diferente em indivíduos com o mesmo genótipo.

2. • Para saber qual a probabilidade de saírem três faces cara e duas coroa no lançamento de cinco moedas, precisamos saber de quantas maneiras diferentes esse evento pode ocorrer. Para isso, calculamos o número de combinações possíveis desse evento, por meio da fórmula matemática:

$$C_n^p = \frac{n!}{p!(n-p)!}$$

   Observe que essa fórmula utiliza o fatorial de dois números naturais ($n!$ e $p!$), em que n corresponde ao número de elementos de um conjunto e p determina o número de elementos selecionados desse total. Portanto, $n!$ equivale ao produto de todos os números naturais de 1 a n, e $p!$, ao produto de todos o números naturais de 1 a p. Neste exemplo, n equivale ao número de moedas lançadas (5) e p ao número de moedas em que se obteve cara (3) ou coroa (2). Assim, como as possibilidades de lançamentos são mutuamente excludentes (ou se obtém cara ou coroa), podemos substituir p por 2 ou 3, obtendo o mesmo resultado:

   Para obtermos três faces cara ($p = 3$):

$$C_n^p = C_5^3 = \frac{5!}{3!(5-3)!} = \frac{5\cdot4\cdot3\cdot2\cdot1}{3\cdot2\cdot1\cdot2\cdot1} = \frac{5\cdot4\cdot\cancel{3}\cdot\cancel{2}\cdot\cancel{1}}{\cancel{3}\cdot\cancel{2}\cdot\cancel{1}\cdot2\cdot1} = \frac{20}{2} = 10 \text{ ou,}$$

   para obtermos três faces coroa ($p = 2$):

$$C_n^p = C_5^2 = \frac{5!}{2!(5-2)!} = \frac{5\cdot4\cdot3\cdot2\cdot1}{2\cdot1\cdot3\cdot2\cdot1} = \frac{5\cdot4\cdot\cancel{3}\cdot\cancel{2}\cdot\cancel{1}}{2\cdot1\cdot\cancel{3}\cdot\cancel{2}\cdot\cancel{1}} = \frac{20}{2} = 10$$

   Logo, no lançamento de cinco moedas, há 10 combinações possíveis para obtermos três faces cara e duas faces coroa. Mas, no lançamento de apenas

uma moeda, a probabilidade de obtermos cara ou coroa é igual a 1/2. Então, elevamos a chance de cara ao cubo e a de coroa ao quadrado: $(1/2)^3 \cdot (1/2)^2$ e multiplicamos esse produto pelas 10 combinações possíveis:

$10 \cdot (1/2)^3 \cdot (1/2)^2 = 10 \cdot 1/8 \cdot 1/4 = 10/32 = 0{,}3125$

Portanto, a probabilidade de, no lançamento de cinco moedas, obtermos três caras e duas coroas é de 10 vezes a cada 32 lançamentos ou 31,25%.

Atenção: se for determinada uma ordem para os acontecimentos, por exemplo, as três primeiras moedas face cara e as duas últimas coroa, há apenas uma combinação possível e a resposta será calculada por:

$1 \cdot (1/2)^3 \cdot (1/2)^2 = 1/32 = 0{,}03125$ ou 3,125%

• A probabilidade de pais heterozigotos para albinismo terem um filho não albino é 3/4; logo, para terem dois filhos não albinos é $(3/4)^2$. A probabilidade de esses pais terem um filho albino é 1/4. Então, a probabilidade de esse casal ter dois filhos não albinos e um albino é:

$(3/4)^2 \cdot 1/4 = 9/64$

Para saber de quantas maneiras diferentes isso pode acontecer, aplicamos a fórmula matemática:

$$C_n^p = C_3^2 = \frac{3!}{2!(3-2)!} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{3 \cdot \cancel{2} \cdot \cancel{1}}{\cancel{2} \cdot \cancel{1} \cdot 1} = 3$$

Assim, a probabilidade de pais heterozigotos para albinismo terem dois filhos não albinos e um filho albino é calculada por:

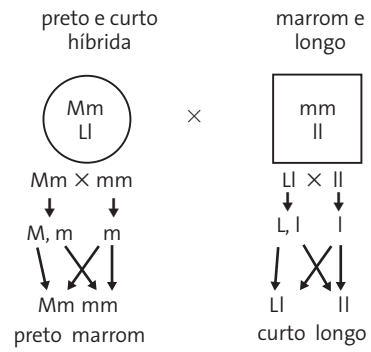
$9/64 \cdot 3 = 27/64$

Se fosse determinada uma ordem específica para o nascimento dos filhos (por exemplo, o terceiro filho albino), a probabilidade seria 9/64.

Atividades práticas

1. **Aa** e **Aa** (ou **Bb** e **Bb**, etc.).
2. Proporção esperada: 1/4 **AA**; 2/4 **Aa**; 1/4 **aa**. A proporção obtida pode ser diferente desta.
3. Proporção esperada: 3/4 dominante e 1/4 recessivo. A proporção obtida pode ser diferente desta.
4. As proporções obtidas devem variar entre os grupos. Isso acontece porque a proporção esperada indica apenas uma probabilidade, o que significa que pode haver um desvio entre essa proporção e a proporção obtida.
5. Nessa nova situação, os genótipos dos pais seriam **Aa** e **aa**. A proporção esperada será de 1/2 **Aa** e 1/2 **aa**. A proporção obtida pode ser diferente desta. A proporção fenotípica esperada é de 1/2 dominante e 1/2 recessivo. A proporção obtida pode ser diferente desta.

CAPÍTULO 2

1. As ervilhas amarelas e lisas eram duplamente heterozigotas (**VvRr**). Como os alelos para cor da semente estão em cromossomos diferentes dos alelos para forma da semente, a herança da cor da semente é independente da herança da forma da semente, podendo, então, surgir sementes verdes e rugosas (**vvrr**).
2. 

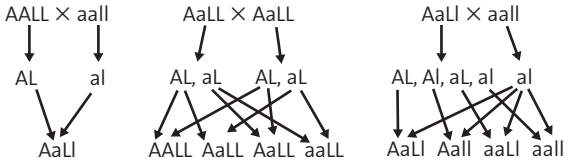
Probabilidade para preto = 1/2; probabilidade para longo = 1/2; probabilidade para preto e longo = = 1/2 × 1/2 = 1/4. Pelo genograma: óvulos, **ML**, **ml**, **mL** e **Ml**; espermatozoides, **ml**.

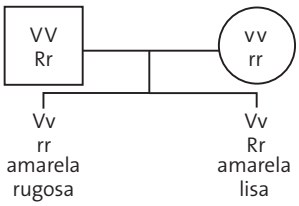
♂ \ ♀	**ML**	**ml**	**mL**	**Ml**
ml	MmLl	mmll	mmLl	Mmll

A probabilidade é de 1/4 (25%).

3. a) **AABBCC** × **aabbcc**.

   b) 27 (3^3) genótipos diferentes.

   c) A autofecundação não produziu apenas indivíduos heterozigotos, geneticamente idênticos aos originais, pois, de acordo com a segunda lei de Mendel, o cruzamento de um poliíbrido origina vários tipos de indivíduos geneticamente diferentes (homozigotos, monoíbridos, etc.). Muitos desses indivíduos não têm a mesma produtividade do indivíduo original.
4. 

5. 

Logo, os genótipos dos pais são **VVRr** e **vvrr**.

6. As características dominantes devem ser folhas ovais e flores azuis, pois são os indivíduos que ocorrem em maior frequência. As proporções obtidas se aproximam das esperadas para a segunda lei de Mendel para o cruzamento de dois híbridos (9 : 3 : 3 : 1).

7. Alelos: **A** (dominante) e **a** (recessivo); **B** (dominante) e **b** (recessivo).

Pais: **AABB** × **aabb**

$\mathbf{F_1}$: **AaBb**

$\mathbf{F_1} \times \mathbf{F_1}$: **AaBb** × **AaBb**

$\mathbf{F_2}$: 9/16 A_B_ : 3/16 A_bb: 3/16 aaB_ : 1/16 aabb

P (**A_B_**) = 9/16 × 352 = 198

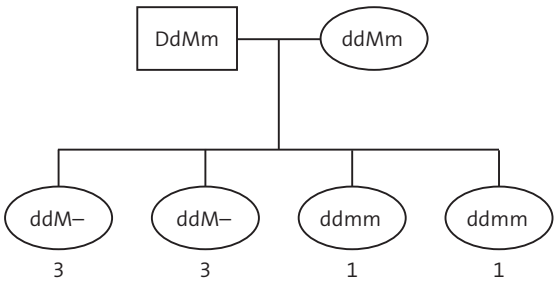
P (♂) = 1/2

P (♂ **A_B_**) = 1/2 × 198 = 99 descendentes.

8. a) Gametas: **AB**, **Ab**, **aB** e **ab**, todos na proporção de 1/4.

b) **Aa** × **Aa** → 1/4 **AA**, 2/4 **Aa**, 1/4 **aa**; **Bb** × **Bb** → → 1/4 **BB**, 2/4 **Bb**, 1/4 **bb**. Multiplicando as probabilidades nos dois casos, obtemos a proporção genotípica: 1/16 **AABB**, 2/16 **AABb**, 1/16 **AAbb**, 2/16 **AaBB**, 4/16 **AaBb**, 2/16 **Aabb**, 1/16 **aaBB**, 2/16 **aaBb**, 1/16 **aabb**.

9. a) Pelos dados do problema, temos: pelo preto: **D**; pelo marrom: **d**; padrão uniforme: **M**; padrão malhado: **m**. O heredograma pode ser esquematizado assim:



Os genótipos dos pais são **DdMm** e **ddMm**.

b) O cruzamento será entre o filho preto e branco (**Ddmm**) e uma fêmea **ddMm**:

♀ \ ♂	**Dm**	**dm**
dM	DdMm	ddMm
dm	Ddmm	ddmm

Logo, 25% dos descendentes deverão ser iguais ao pai (**Ddmm**).

10. e

11. d

12. V – F – F – V – F

13. e

14. c

15. e

16. e

17. c

18. d

19. d

20. c

21. 02 + 04 + 08 + 16 = 30

22. b

23. b

Unidade 2

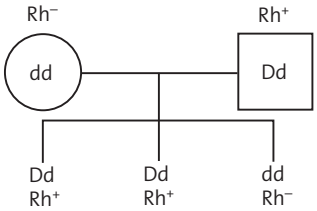
CAPÍTULO 3

1. As aglutininas anti-B do plasma do receptor tipo A aglutinam as hemácias com aglutinogênio B do doador tipo B e podem ocorrer entupimento de capilares, reações alérgicas, lesões renais e morte.

2. a) Os alelos podem surgir por mutações no gene.

b) Não, porque um indivíduo possui apenas um par de cada alelo.

3. Não, porque as hemácias da pessoa do grupo AB serão aglutinadas pelas aglutininas do grupo O, podendo provocar problemas e até a morte.

4. 

5. O bebê **1** pode ser filho dos casais **I**, **II** ou **III**. O bebê **2** pode ser filho dos casais **I** ou **III**. Mas como o bebê **3** (grupo AB) só pode ser filho do casal **I**,

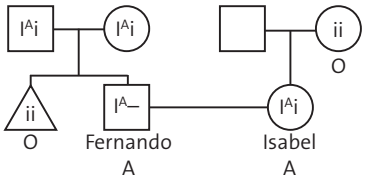
descobre-se que o bebê **2** é filho do casal **III**. Assim o bebê **1** deve ser filho do casal **II**. O bebê **4** poderia ser filho dos casais **IV** ou **II**. Mas como o casal **IV** só pode ter filhos O, deve ser desse o bebê **4**.

6. Não, porque há uma probabilidade de o filho ter vários grupos sanguíneos iguais aos do pai.

7. a) Sim, pois o sangue de um indivíduo tipo O aglutina com soro anti-H, enquanto o de um indivíduo com genótipo **hh**, não.

b) Essa situação é possível se o filho do casal for falso zero. Assim, o genótipo dos pais seria **Hh** e o do filho, **hh**.

8. a) Os pais de Fernando possuem o genótipo I^Ai.



b) P (Fernando ser $\mathbf{I^Ai}$) = 2/3

P (Isabel ser $\mathbf{I^Ai}$) = 1

P (criança **ii**) = 1/4

P (Fernando ser $\mathbf{I^Ai}$ e Isabel ser $\mathbf{I^Ai}$ e criança **ii**) = = 2/3 × 1 × 1/4 = 2/12 = 1/6

9. a) 1ª criança: 1/4 × 1/2 = 1/8;

2ª criança: 1/4 × 1/2 = 1/8; 1/8 × 1/8 = 1/64.

b) Se o casal já teve uma criança AB, Rh^+, a probabilidade de que tenha outra é 1/8 (1/4 × 1/2).

10. a

11. a

12. a

13. a

14. a

15. b

16. e

17. b

18. b

19. 01 + 02 + 08 + 16 + 64 = 91

CAPÍTULO 4

1. Proporção genotípica: 1/4 **EERr**, 1/4 **EErr**, 1/4 **EeRr**, 1/4 **Eerr**; proporção fenotípica: 1/2 noz e 1/2 ervilha.

2. Sim; basta que os genótipos dos pais sejam **B_Ee** (preto) e **bbEe** (chocolate).

3. Usando a fórmula $2n + 1$ (onde n é o numero de pares de alelos), temos: $2 \cdot 3 + 1 = 7$. Logo, poderiam ser identificadas 7 classes diferentes de pigmentação.

4. Para determinar n (número de pares de genes na fórmula $1/4^n$), calculamos a proporção dos indivíduos com altura máxima (ou a dos indivíduos com altura mínima): 5/1 280 = 1/256 = $1/4^4$. Logo, n = 4 (quatro pares de genes ou oito alelos). Supondo os pares **A**, **B**, **C** e **D**, o cruzamento será **AaBbCcDd** com **AaBbCcDd**. O indivíduo **AABBCCDD** terá 2,50 m e o **aabbccdd** 0,90 m. Os oito genes efetivos fizeram a altura variar de 0,90 m para 2,50 m, o que significa um aumento de 1,60 m (2,50 m – 0,90 m). Logo, cada gene efetivo contribui com 0,20 m (1,60/8 = 0,20 m).

5. 9 **I_C_** (branca) : 3 **iiC_** (colorida) : 3 **I_cc** (branca): 1 **iicc** (branca). Portanto, 13 galinhas brancas e 3 coloridas.

6. 1/4 **DdEe**; 1/4 **Ddee**; 1/4 **ddEe**; 1/2 **ddee**. 1/4 sem surdez; 3/4 com surdez.

7. A herança poligênica, pois a presença de dois ou mais pares de alelos sem dominância, com ação cumulativa, aumenta o número de fenótipos possíveis.

8. a) Herança quantitativa, poligênica ou polimeria.

b) I. 100% flores brancas só podem ser obtidas do cruzamento de dois indivíduos brancos (**aabb**).

II. 100% flores rosa médio (**AaBb**) só podem ser obtidas do cruzamento de um indivíduo rosa escuro (**AABB**) com branco (**aabb**).

9. b

10. c

11. e

12. b

13. d

14. e

CAPÍTULO 5

1. Gametas: **AB** e **ab**. Proporção genotípica: 1/2 **AaBb** e 1/2 **aabb**.

2.

AaBb	40%	A – B (10%)
		A – b (10%)
		a – B (10%)
		a – b (10%)
	60%	A – B (30%)
		a – b (30%)

Gametas: **AB** (40%), **ab** (40%), **Ab** (10%) e **aB** (10%); gametas de recombinação: **Ab** e **aB**; taxa de permutação = 20%.

3. Quanto maior a distância entre os genes, maior a possibilidade de permutação (*crossing-over*) entre

eles. Isso ocorre até determinado valor, a partir do qual começa a ocorrer *crossing* duplo.

4.

AB/ab	AB (45%)	90%
	ab (45%)	
	Ab (5%)	10%
	aB (5%)	

5. O cruzamento-teste é de **AaBb** com **aabb**. As duas classes em menor número indicam as classes de recombinação. Então, a taxa de permutação é de 400 (187 + 213) em 1 000 (total de indivíduos) ou 40%. Como as classes de recombinação são formadas por indivíduos **AaBb** (ou **AB**/**ab**) e **aabb** (ou **ab**/**ab**), os genes estão em posição *trans*: **Ab**/**aB**.

6. 350 + 350 + 150 + 150 = 1 000

1 000 ——— 100%

300 ——— x

x = 30%

Taxa de permutação = 30%.

7. pelos negros e curtos × pelos negros e curtos

B_L_ **B_L_**

De acordo com os resultados apresentados na tabela, nasceram filhotes de pelos brancos e longos, ou seja, duplo-recessivos (**bbll**). Ambos os pais têm de ser portadores dos alelos recessivos e, portanto, duplo-heterozigotos (**BbLl**).

pelos brancos e curtos × pelos brancos e curto

bbL_ **bbL_**

De acordo com os resultados apresentados na tabela, desse cruzamento nasceram filhotes iguais aos pais e também filhotes de pelos longos. Logo, o genótipo dos pais é **bb** (pelos brancos), **Ll** (porque têm os pelos curtos, mas geraram filhotes de pelo longo (**ll**).

8. A informação corresponde a um caso de segregação independente (di-hibridismo), pois há quatro classes fenotípicas com a mesma frequência, o que é característico desse tipo de cruzamento.

9. a) **AaBb**, **aabb**, **Aabb** e **aaBb**.

b) **AB**, **ab**, **Ab** e **aB**.

c) *linkage*, ligação, segregação conjunta, segregação amarrada ou segregação dependente.

d) 8 unidades de recombinação (UR).

10. c

11. c

12. c

13. e

14. c

15. e

16. a

17. b

CAPÍTULO 6

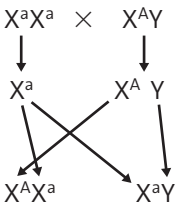
1. A hemofilia é mais comum no sexo masculino porque, sendo a hemofilia um caráter recessivo e sendo homens XY, para ser hemofílico, basta que o homem receba um alelo para hemofilia da mãe. Já na mulher, esse caráter só se manifestará quando o alelo estiver em dose dupla, ou seja, quando ela receber um alelo para hemofilia do pai e outro da mãe, o que é um acontecimento mais improvável que o anterior.

2. X^HX^h (portadora) × X^HY (não hemofílico)

♀ \ ♂	X^H	Y
X^H	X^HX^H	X^HY
X^h	X^HX^h	X^hY

Portanto, as probabilidades são de 3/4 não hemofílicos e 1/4 hemofílico. Ou 1/2 das meninas portadoras do gene para hemofilia e 1/2 dos meninos hemofílicos.

3. X^aX^a × X^AY

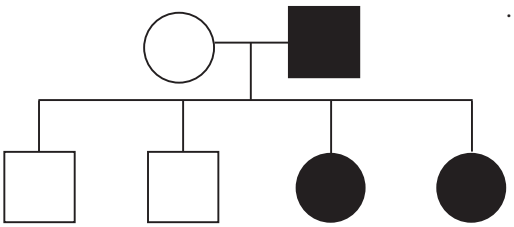


Por meio do esquema, é possível notar que os filhos homens têm o caráter da mãe, que apesar de recessivo é expresso, uma vez que homens só apresentam uma cópia do cromossomo X. E as filhas apresentam o caráter dominante do pai.

4. O genótipo do macho manchado é XY^m e o cruzamento produzirá 100% de machos com manchas e 100% de fêmeas sem manchas.

5. O heredograma sugere um padrão de herança recessiva e ligada ao sexo, isto é, gene recessivo situado na região não homóloga do cromossomo X. São evidências: somente afeta homens que transmitem o gene, por meio de suas filhas portadoras, para cerca de metade de seus netos do sexo masculino. Os filhos homens de indivíduos afetados pela anomalia não manifestam o caráter.

6. Não, porque o pai transmite aos filhos do sexo masculino apenas o cromossomo Y. Se nasceu um menino hemofílico, o gene X^h, que condiciona a hemofilia, só pode ter vindo da mãe.

7. 

8. d
9. d
10. b
11. d
12. c
13. c
14. e
15. a
16. d
17. a
18. e

Trabalho em equipe

a) O cromossomo X é maior e contém um pouco mais de DNA do que o Y. Com base nisso, foram desenvolvidas técnicas que permitem separar os dois tipos de espermatozoides. Essas técnicas possibilitam a seleção do sexo (sexagem) em sêmen de bois e cavalos, conseguindo-se uma quantidade de sêmen mais rica em um dos espermatozoides do que no outro. Com isso, a chance de nascer um filhote do sexo desejado aumenta. Para a produção leiteira, por exemplo, seria mais conveniente conseguir mais fêmeas do que machos.

Outra técnica consiste em diagnosticar o sexo nos embriões obtidos por fertilização que serão implantados no útero dos animais. Ambas as técnicas, porém, têm alto custo, entre outros problemas.

b) No Brasil, o Conselho Federal de Medicina proíbe o uso das técnicas de reprodução assistida com essa finalidade. Ele determina que essas técnicas "não devem ser aplicadas com a intenção de selecionar o sexo ou qualquer outra característica biológica do futuro filho, exceto quando se trate de evitar doenças ligadas ao sexo do filho que venha a nascer".

Não há no país uma norma para regulamentar a seleção embrionária para fins terapêuticos, como a gestação de um bebê capaz de ajudar, por doação de órgãos, na cura de doenças de outras pessoas.

É preciso lembrar também que as técnicas de reprodução assistida são caras e nem sempre bem-sucedidas. E em relação a elas e ao exame de embriões entram em cena também questões éticas e valores culturais e religiosos.

CAPÍTULO 7

1. As duas aplicações que ainda não são possíveis são a recriação de espécies extintas e a produção de clones humanos, sendo que esta última é também condenada pela Unesco.
2. Não, são processos totalmente diferentes. Para a produção de plantas transgênicas pode ser necessária a inserção, nas células da planta, de genes de espécies muito diferentes, por exemplo, de bactérias. Além disso, esse tipo de produção tem uma vantagem em relação à produção por meio de seleção artificial: não é preciso esperar que surjam, por mutação, novas variedades de plantas, nem é necessário se realizar milhares de cruzamentos, esperando que caracteres desejáveis sejam transmitidos às gerações futuras.
3. No caso da primeira afirmação, ele está certo: as enzimas de restrição podem ser comparadas a "tesouras moleculares", já que permitem "cortar" o DNA em vários fragmentos. No entanto, ele está enganado em sua segunda afirmação, uma vez que enzimas de restrição, assim como outras enzimas, são específicas, isto é, determinada enzima corta o DNA apenas em pontos onde ocorrem sequências específicas de bases.
4. Sim, porque dois irmãos possuem genomas diferentes. Já no caso de gêmeos univitelinos, isso não é possível, porque eles possuem praticamente o mesmo genoma.
5. **AATCGATA**.

6. a) a_1) Etapa **II**. a_2) Etapa **I**. a_3) Etapa **III**.
   b) Organismos ou indivíduos em que genes de uma outra espécie são introduzidos por meio de engenharia genética.
7. Os gêmeos ditos univitelinos são originários da fecundação de um mesmo óvulo por um mesmo espermatozoide, o que os torna geneticamente idênticos e não identificáveis por meio do sequenciamento do DNA. Assim, não é possível identificar a paternidade do recém-nascido em questão.
8. a) Sim. A criança é filho biológico do suposto pai, porque todas as bandas de DNA que ele não herdou de sua mãe coincidem com as desse homem.
   b) A amostra de sangue recolhida no local do crime é de uma terceira pessoa não identificada, porque diversas bandas de DNA verificadas nessa amostra não coincidem com as amostras detectadas no DNA da vítima ou do suspeito.
9. c
10. b
11. c
12. a
13. d
14. d
15. d

Trabalho em equipe

1. A propensão para diversas doenças pode ser diagnosticada por testes de DNA, por exemplo: a doença de Huntington, a fibrose cística, a acondroplasia, a distrofia muscular de Duchenne. O conhecimento da predisposição a certas doenças permite que a pessoa realize exames com mais frequência, além de outras medidas preventivas.
   Espera-se que os alunos considerem que o conhecimento pode levar uma pessoa a tomar algumas medidas que melhorem sua qualidade de vida ou optar por adotar uma criança em vez de ter um filho biológico, por exemplo.
   Devem ser elaboradas leis que impeçam o acesso não consentido a testes de DNA, com punições para os que discriminarem pessoas com base nesses testes. A última questão é uma atividade em aberto, que depende da opção pessoal do aluno.
2. Entre outros dados, os alunos poderão descobrir que Crodowaldo Pavan realizou pesquisa sobre os cromossomos e a genética de várias espécies de insetos e o controle biológico de pragas; que Mayana Zatz executou relevantes pesquisas em Genética humana, especialmente no campo de células-tronco e doenças neuromusculares, como as distrofias musculares e a esclerose lateral amiotrófica; que Warwick Estevam Kerr pesquisou a genética de abelhas e o melhoramento de hortaliças; que Oswaldo Frota-Pessoa realizou pesquisas em genética humana e classificação de drosófilas; que Sérgio Danilo Junho Pena realizou pesquisas sobre a genética da população brasileira, além de estudos sobre *Schistosoma mansoni* e doença de Chagas.

Atividades práticas

1. Lipídios e as membranas da célula.
2. O DNA não está presente apenas nos alimentos transgênicos, mas em muitos outros alimentos não transgênicos. Por isso, a frase não serve como argumento para justificar um possível perigo de se consumir alimento transgênico.
3. Trata-se do teste de Feulgen.

Unidade 3

CAPÍTULO 8

1. O filho deveria nascer com a pele mais escura do que ela seria se o casal não tivesse tomado muito sol. Entretanto, isso não ocorre, porque características adquiridas não são transmitidas aos filhos, uma vez que elas não são incorporadas aos gametas (só se transmitem as características geradas por mutações genéticas que tenham atingido as células germinativas e/ou os gametas).
2. a) O ser humano conseguiu criar uma grande variedade de cães por meio de cruzamentos seletivos, isto é, cruzando indivíduos com as características desejadas (por exemplo, maior altura ou cor de pelo mais bonita).
   b) Esse processo, chamado seleção artificial, era conhecido por Darwin, e o ajudou a formular o conceito de seleção natural. Na seleção natural, porém, como o nome sugere, o processo ocorre naturalmente. Indivíduos com certas características, mais favoráveis à sobrevivência e à reprodução, tendem a viver mais e, portanto, a deixar mais descendentes do que os que não possuem essas características.

3. Trata-se do esboço da primeira árvore genealógica, feito por Darwin para ilustrar a descendência com modificação, isto é, a origem de espécies atuais por evolução a partir de um ancestral comum.

4. Para Lamarck, o hábito das girafas de esticar o pescoço para comer as folhas do alto das árvores teria provocado um aumento no comprimento do pescoço desses animais – lei do uso e desuso –, e esse aumento teria passado para as gerações seguintes – lei da transmissão dos caracteres adquiridos. Essa última lei é falsa, já que somente alterações nos genes das células germinativas podem passar para as gerações seguintes. Para Darwin, as girafas com pescoço maior conseguiram se alimentar melhor e, consequentemente, tiveram maior probabilidade de sobreviver e deixar descendentes.

5. a) Essas mudanças ocorrem por mutações no DNA dos indivíduos, as quais podem ocorrer por acaso ou devido à ação de algum agente mutagênico que estimule seu aparecimento, como a radiação, por exemplo. Se presentes nos gametas, essas mutações podem ser transmitidas de geração em geração.

   b) Seleção natural.

6. a) Segundo a teoria lamarckista, as bactérias podem se tornar resistentes para sobreviver na presença dos antibióticos e transmitem essa aptidão adquirida aos seus descendentes.

   b) Segundo a teoria darwinista, os antibióticos selecionam as variedades bacterianas naturalmente resistentes, eliminando as variedades sensíveis.

7. a) Lamarck porque preconiza que as "patas" do golfinho se transformaram em nadadeiras, pelo uso exagerado, para se adaptar ao ambiente aquático.

   b) A frase está em desacordo com a teoria de Darwin porque os golfinhos foram selecionados nesse ambiente, dentre as variações produzidas pelos seus ancestrais.

8. a) O aumento populacional das aves dotadas de bico fino é resultante de sua capacidade de capturar as presas que lhes servem de alimento. A diminuição das aves de bico largo deve-se, provavelmente, à escassez de suas presas usuais ou à dificuldade de sua captura.

   b) Segundo Darwin, a adaptação é o resultado da seleção natural de características favoráveis em determinado ambiente.

9. e

10. b

11. d

12. b

13. d

14. a

Trabalho em equipe

a) Entre os vários relatos que os alunos deverão encontrar, podem ser mencionados os seguintes:
A expressão "HMS" antes de "Beagle" significa "His (or Her) Majesty's Ship" (o navio de sua Majestade, em inglês), usada, por exemplo, pelo império britânico, local de origem do Beagle.
Darwin esteve no Brasil, Argentina, Chile e nas ilhas Galápagos e coletou mais de 1 500 espécies diferentes, muitas delas jamais vistas na Europa. Em fevereiro de 1832, extasiou-se com a beleza da floresta tropical de Salvador. Em abril do mesmo ano, passou pelo Rio de Janeiro, onde ficou chocado com o tratamento dado aos escravizados. Na Argentina, em setembro de 1832, encontrou fósseis de animais de grandes dimensões, parecidas com "preguiças" (hoje, gênero *Megatherium*, extinto) e "tatus" (hoje, gênero *Glyptodon*, extinto). Esses animais, apesar da diferença de proporções, guardavam muitas semelhanças com espécies atuais. Encontrou também populações de aves que não voavam (emas, gênero *Rhea*), que diferiam em tamanho, conforme as regiões geográficas em que eram encontradas (mais tarde classificadas por especialistas em espécies diferentes). Encontrou também fósseis de roedores e de um estranho animal (hoje, gênero *Macrauchenia*, extinto) que era semelhante aos animais da família do camelo, vicunha e lhama. A maioria desses fósseis não foi identificada por Darwin, que enviou os exemplares à Inglaterra, onde foram examinados, descritos e identificados por especialistas como Richard Owen, Thomas Bell e John Gould.
Darwin relatou depois, em seu livro *A origem das espécies*, que, quando a bordo do Beagle, ficou impressionado com a distribuição das espécies

na América do Sul e as relações geológicas entre as espécies presentes e passadas daquele continente, e afirmou que fatos como esses pareciam lançar alguma luz sobre a origem das espécies.

Em meados de 1835, o navio ancorou no Chile, em Valparaíso. Nos Andes dessa região, a mais de mil metros de altitude, Darwin encontrou fósseis de conchas e árvores petrificadas semelhantes às encontradas no nível do mar. Isso sugeria que a Terra teria passado por grandes transformações, com montanhas sendo erguidas ao longo do tempo.

No final de 1835, chegou às ilhas Galápagos, encontrando espécies que não existiam em nenhum outro lugar, como iguanas marinhas, tartarugas de grande porte e muitas aves. Os pássaros, identificados depois como tentilhões, possuíam forma e tamanhos de bico adaptados a diferentes alimentos. Posteriormente, ele percebeu que essas espécies poderiam ter evoluído de espécies vindas do continente mais próximo.

b) Entre outras informações, os estudantes poderão encontrar os seguintes dados sobre os cientistas mencionados:

- Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829), foi oficial do exército e depois professor de História Natural, tendo escrito livros de Botânica, Zoologia e Paleontologia. Inicialmente, acreditava que as espécies eram imutáveis, mas depois desenvolveu a sua teoria da evolução publicada no livro *Philosophie Zoologique* em 1809. Para Lamarck, os seres vivos tendiam a um melhoramento constante e a um aumento de complexidade. Com o auxílio da lei do uso e desuso e da ideia de transmissão das características adquiridas, comuns em seu tempo, Lamarck explicava a transmutação dos seres vivos. Ele defendia também a geração espontânea contínua dos organismos mais simples. Mesmo que a transmissão das características adquiridas não seja mais aceita, Lamarck foi importante por defender a evolução e contribuir para a divulgação dessa ideia.
- Alfred Russel Wallace (1823-1913), um naturalista britânico, é considerado o codescobridor, junto com Darwin, do princípio da seleção natural. Participou de expedições científicas na América do Sul, Malásia e Indonésia coletando e estudando diversas espécies de animais. Em 1853, publica seu primeiro livro: *Narrativa de viagens pelo Amazonas e o Rio Negro*.

  Wallace, como Darwin, também leu o trabalho do economista Thomas Malthus (1766-1834) e escreveu o ensaio "Sobre a tendência das variedades de se distanciar indefinidamente a partir do tipo original", publicado depois em livro, e enviou-o a Darwin, com quem se correspondia. Darwin, que já tinha escrito a maior parte de seu trabalho, mas que não se animava a publicá-lo, percebeu que Wallace defendia ideias praticamente idênticas às suas (embora Wallace não tenha usado o termo "seleção natural"). Quando ficaram sabendo disso, por seu próprio intermédio, amigos de Darwin, o geólogo Charles Lyell e o botânico Joseph Hooker, estimularam-no a publicar suas ideias o mais rapidamente possível. De comum acordo, Darwin e Wallace apresentaram um trabalho em conjunto, com as ideias de ambos, na Linnean Society of London, em julho de 1858. No ano seguinte, Darwin publicou seu livro *A origem das espécies*. Wallace publicou ainda um artigo sobre a origem da espécie humana pela seleção natural.

  Em 1869, Wallace divulgou suas pesquisas, feitas no arquipélago malaio, sobre a distribuição geográfica dos animais, sendo considerado por muitos como o pai da Biogeografia.
- Henry Walter Bates (1825-1892), naturalista e explorador inglês, realizou pesquisas no Brasil e esteve na Amazônia entre 1848 e 1859, publicando artigos e livros sobre suas pesquisas, que forneceram dados importantes para o trabalho de Darwin e Wallace sobre a origem das espécies. Colecionou milhares de espécimes, a maioria insetos, de espécies desconhecidas na época. Foi o primeiro cientista a descrever o mimetismo, fenômeno em que um animal se assemelha a outro, de outra espécie, ganhando, com isso, algum tipo de vantagem, em geral, proteção contra predadores. É o caso de algumas borboletas, que, apesar de não terem gosto ruim nem serem venenosas, apresentam a forma ou a cor daquelas que têm essas defesas. É o chamado mimetismo batesiano, batizado assim em sua homenagem. Para Bates, esse tipo de mimetismo representava uma evidên-

cia favorável à teoria da evolução de Darwin e Wallace. Um de seus livros foi traduzido para o português: *Um naturalista no rio Amazonas* (Belo Horizonte: Itatiaia, 1979).

- Johann Friedrich Theodor Muller (1822-1897), mais conhecido como Fritz Muller, foi um naturalista alemão e professor de matemática e ciências naturais. Em 1852, imigrou para o Brasil e se estabeleceu em Santa Catarina. Em 1864, publicou o livro *Für Darwin* (A favor de Darwin), apresentando o resultado de pesquisas em que acompanhou o desenvolvimento de microcrustáceos comuns em Santa Catarina, mostrando que havia uma competição entre os machos, em que aqueles com pinças maiores sobreviviam em maior número, resultado que apoiava a teoria da evolução de Darwin. Escreveu também centenas de artigos científicos sobre a flora e fauna catarinense.

c) Confundir conhecimento científico e ética foi um grande equívoco do movimento conhecido como "darwinismo social", que, no século XIX, usou o conceito de seleção natural para tentar justificar a divisão da sociedade em classes e o imperialismo, pois seria natural o domínio dos indivíduos supostamente mais fortes sobre os mais fracos, que tenderiam a perecer. O primeiro erro foi supor que a genética e a seleção natural são os únicos fatores que influenciam o ser humano, esquecendo que, em nossa espécie, a cultura e os valores sociais são importantes fatores de influência. O segundo foi confundir um fenômeno natural, a evolução, com a esfera ética – que trata do que deveria ser e não do que é de fato – extrapolando de fatos para princípios éticos e para a complexidade da cultura humana.

CAPÍTULO 9

1. Não. As mutações ocorrem ao acaso.
2. Isso acontece porque os vírus da gripe sofrem tantas mutações que, depois de um ano, novos vírus mutantes já estarão no ambiente.
3. Não. O mutante capaz de digerir o subproduto do náilon pode aparecer em qualquer ambiente, visto que a mutação é aleatória. No entanto, em ambiente com esse material, a mutação é vantajosa e, por isso, se mantém.
4. Porque essas mutações não são transmitidas aos descendentes.
5. Dentro de uma população, as diferenças genéticas entre os indivíduos fornecem material no qual a seleção natural e outros mecanismos podem atuar. Sem essas diferenças, as frequências alélicas não podem mudar ao longo do tempo, e assim a população não pode evoluir.
6. Dona Gertrudes pode observar a evolução da população de lagartas em sua horta. A mudança ambiental provocada pelo inseticida utilizado acabou por selecionar lagartas resistentes. A resistência ao praguicida foi conferida aos animais através de mutação gênica, fenômeno casual e espontâneo que determina a variabilidade entre os indivíduos de uma mesma espécie.
7. a) As bactérias capazes de sobreviver na cultura **B** surgiram como consequência de mutações gênicas ocorridas ao acaso nas bactérias da colônia original.

   b) No intervalo **X** as bactérias da cultura **A** cresceram imediatamente porque eram todas capazes de metabolizar a glicose. Entre as bactérias de **B**, apenas uma minoria era capaz de metabolizar a lactose, o que explica a queda inicial e o posterior crescimento em número da população dessa minoria inicial.
8. d
9. c
10. b
11. c
12. a
13. b
14. b
15. a
16. c
17. c

Atividade prática

a) As mariposas menos capturadas nas carteiras serão as que têm cores mais parecidas com as das carteiras. Já as menos capturadas nas paredes serão aquelas com cores mais parecidas com as das paredes. A explicação é que a cor funciona como camuflagem, tornando mais difícil sua visualização e sua captura.

b) As de cor escura, porque elas estarão mais camufladas com o ambiente, dificultando a visualização pelos pássaros.

c) As mariposas de cor clara.

d) Seleção natural.

e) Não. A fuligem não deve produzir alteração nos genes das células germinativas das mariposas, que, portanto, não poderão gerar descendentes de cor escura.

CAPÍTULO 10

1. Espera-se que o aluno não concorde, porque o alelo responsável pela característica recessiva está presente também em indivíduos heterozigotos. Ou seja, indivíduos que não apresentam a característica recessiva, se forem heterozigotos, também terão o alelo recessivo.
2. $\mathbf{A} = 0{,}2 \rightarrow \mathbf{a} = 1 - 0{,}2 = 0{,}8$; $\mathbf{Aa} = 2 \times 0{,}2 \times 0{,}8 = 0{,}32$ ou 32%.
3. Houve um isolamento geográfico em ambientes diferentes que selecionou diferenças genéticas entre as moscas. Algumas dessas diferenças afetaram a escolha do parceiro sexual, desencadeando o início de um isolamento reprodutivo (isolamento comportamental).
4. A doença só se manifesta em uma idade em que muitas pessoas já procriaram e, portanto, já passaram o gene para os filhos. Outro motivo é que novos genes para a doença surgem eventualmente a partir de mutações do gene normal.
5. O rio deve ter promovido um isolamento geográfico entre duas populações de ancestrais dos chimpanzés, impedindo que elas trocassem genes entre si. Formaram-se, assim, duas subespécies, e, com o tempo e a persistência do isolamento geográfico, as duas subespécies se diferenciaram a ponto de atingir o isolamento reprodutivo, com a formação de duas espécies.
6. a) Como o alelo para a fibrose cística é recessivo, $\mathbf{aa} = \mathbf{q}^2 = 1/2\,500$ ou 0,0004. Logo, $\mathbf{q} = 0{,}02$ e $\mathbf{p} = 1 - 0{,}02 = 0{,}98$. A frequência de heterozigotos será $2\mathbf{pq} = 2 \times 0{,}02 \times 0{,}98 = 0{,}0392$.

   b) Como a doença pode provocar a morte de indivíduos ainda jovens, a frequência do alelo para fibrose cística pode estar diminuindo.
7. Não. A variação da frequência de um alelo em uma população pode ter outras causas, que não implicam maior ou menor adaptação ao ambiente, como, por exemplo, uma catástrofe natural, que mata indivíduos aleatoriamente, ou por deriva genética.
8. Isolamento estacional, sazonal ou temporal. Isolamento pré-zigótico.
9. Isolamento gamético.
10. a) Frequência de afetados (**aa**) = 36% ou 0,36; frequência do alelo **a** = 0,6; frequência do alelo **A** = 1 – 0,6 = 0,4.

    b) Frequência de **AA** = $(0{,}4)^2$ = 0,16; frequência de **aa** = 0,36; frequência de homozigotos (**AA** + **aa**) = 0,36 + 0,16 = 0,52 ou 52%, ou seja, 52 indivíduos.

    c) Frequência de dominantes = **AA** + **Aa** = = 0,16 + 0,48 = 0,64 ou 64%. Como a população se encontra em equilíbrio genético, por causa das condições citadas, a porcentagem não se altera.
11. a) III, I, II.

    b) Mutação, recombinação gênica, seleção natural.

    c) Impedir o fluxo gênico entre as populações.
12. Duas; como **A** e **B** cruzam entre si, elas pertencem à mesma espécie. **C** é de outra espécie, pois não cruza com **A** ou **B**.
13. c
14. d
15. a
16. d
17. c

Trabalho em equipe

Essa atividade interdisciplinar contribui para combater preconceitos e estimular o desenvolvimento da ética e da cidadania entre os estudantes.

CAPÍTULO 11

1. A explicação está no fato de que esses animais têm um ancestral comum, no qual os ossos do membro dianteiro apresentavam o mesmo tipo de disposição.
2. Ele quis dizer que a teoria da evolução permite explicar e fazer uma conexão entre diversos fenômenos que, aparentemente, não teriam relação entre

si, como os fósseis, as adaptações, as semelhanças anatômicas, fisiológicas e moleculares entre os seres vivos, os órgãos vestigiais, entre muitos outros.

3. A afirmação tem por base o fato de que o estudo comparado do DNA nos permite identificar semelhanças e diferenças entre espécies vivas e, a partir dessas informações, traçar a história evolutiva dos vários grupos de organismos.
4. Porque a probabilidade de se formarem fósseis é muito baixa. Além disso, depois de formados, muitos deles podem ser naturalmente destruídos por agentes erosivos.
5. Uma origem comum de todos os mamíferos a partir de um ancestral com sete vértebras (os pescoços desses animais são órgãos homólogos).
6. Órgãos homólogos são aqueles que apresentam a mesma origem embrionária e o mesmo tipo de anatomia interna, indicando a mesma origem evolutiva; órgãos análogos são os que realizam a mesma função, embora tenham origem embrionária, anatomia interna e origem evolutiva diferentes, como a asa de morcego (mamífero) e asa de inseto.
7. a) Os genes que codificam essas proteínas são idênticos. Essa identidade é explicada pelo fato de o homem e o chimpanzé descenderem de um ancestral comum em uma época relativamente recente. Por isso não houve acúmulo de mutações em quantidade suficiente para tornar essa proteína diferente nas duas espécies.

   b) Como a separação entre os organismos que originaram o cavalo e os que originaram o homem e o chimpanzé ocorreu há mais tempo que a separação entre o homem e o chimpanzé, o acúmulo de mutações foi maior naquele caso, e os genes do cavalo ficaram muito diferentes dos genes do homem e do chimpanzé.
8. d
9. d
10. e
11. d
12. b
13. e
14. 01 + 02 + 04 + 08 + 16 = 31
15. a
16. b

Trabalho em equipe

1. • *Pakicetus*: Encontrado no Paquistão, vindo daí seu nome. Do início do Eoceno (56 a 34 milhões de anos), com cerca de 1,5 m de comprimento, formato do crânio e dentes com algumas características das baleias.
   A orelha média mostra algumas adaptações para a audição no meio aquático.
   - *Ambulocetus*: Encontrado no Paquistão, data do período Eoceno (50 a 49 milhões de anos). Com corpo alongado e pernas traseiras adaptadas à propulsão no meio aquático, mas podendo se locomover também no meio terrestre. A cauda, ligeiramente achatada, podia ajudar na propulsão. Olhos e narinas no topo do crânio, permitindo-lhe ver e respirar mesmo parcialmente submerso.
   - *Rhodocetus*: Encontrado no Paquistão, data do período Eoceno (54 a 38 milhões de anos). Com vértebras cervicais menores, do tipo encontrado em animais aquáticos. A orelha média está mais adaptada à audição no meio aquático.
   - *Dorudon*: Encontrado na América do Norte, Egito e Paquistão (41 a 33 milhões de anos), com cerca de cinco metros de comprimento. Com características semelhantes às do *Basilosaurus*, as aberturas nasais encontram-se em posição intermediária entre as dos mamíferos terrestres e a das baleias atuais.
   - *Basilosaurus*: Descoberto no Paquistão, Egito e Estados Unidos (34 a 39 milhões de anos), com 18 metros de comprimento, corpo bem alongado e vestígios de pernas traseiras.
2. Em 1896, o cientista francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descobriu que um composto do urânio deixava marcas em chapas fotográficas. Becquerel supôs que o composto estaria emitindo algum tipo de radiação desconhecida.
   Essa hipótese foi confirmada pelo trabalho de um casal de físicos franceses — Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906). Marie Curie descobriu que todos os compostos de urânio emitiam radiações e que a quantidade de radiação dependia da quantidade de urânio. A radiação era, portanto, uma propriedade de determinado átomo, e não de combinações químicas. Trabalhando com Pierre, descobriu ainda mais dois elementos radioativos: o rádio e o polônio.

A radiação alfa é formada por dois prótons e dois nêutrons. A radiação beta é formada por elétrons emitidos pelo núcleo dos átomos radioativos. A radiação gama é uma onda eletromagnética.

As radiações podem provocar danos no material genético, aumentando o risco de vários tipos de doença, inclusive o câncer. A partir de certa intensidade, e dependendo também do tempo que a pessoa fica exposta à radiação, ela pode provocar a morte.

As radiações alfa não têm grande poder de penetração: em geral, podem ser barradas por uma folha de papel, uma peça de roupa ou por outros materiais mais densos que o papel. Na pele, penetram apenas cerca de 0,05 cm.

As radiações beta têm maior poder de penetração, mas geralmente são barradas por uma lâmina de metal não muito grossa (2 mm de chumbo), por madeira densa com poucos centímetros de espessura ou roupa grossa. Na pele, penetram até 1,5 cm.

Já as radiações gama podem passar por até vários centímetros de metal, mas são barradas por placas de chumbo (6 cm de espessura) ou paredes de concreto. (O chumbo é um elemento químico, não radioativo, que tem alta densidade. Por isso, costuma ser usado para barrar radiações).

Conforme emitem radiação, os elementos radioativos se desintegram. Perdem a radioatividade e acabam por se transformar em outros elementos que não são radioativos.

O urânio-238 transforma-se aos poucos em um isótopo do chumbo. O iodo-131, por sua vez, transforma-se em xenônio. O tempo necessário para que a metade de uma amostra de átomo radioativo se desintegre é chamado de meia-vida. Cada elemento tem uma meia-vida própria. O urânio-238, por exemplo, tem uma meia-vida de 4,5 bilhões de anos. Isso significa que, após 4,5 bilhões de anos, 1 g de urânio-238 terá se transformado em 0,5 g de chumbo-206.

A velocidade de desintegração dos elementos radioativos não muda com a temperatura ou outro fator do ambiente. Por isso, esses elementos podem servir como uma espécie de relógio, permitindo que se descubra a idade de rochas ou fósseis. Medindo a quantidade relativa de certos isótopos de urânio e de chumbo, por exemplo, temos uma indicação da idade de uma rocha ou de um fóssil.

Os átomos radioativos têm inúmeras outras aplicações: em pesquisa, na agricultura e na indústria. Nas pesquisas em Biologia, por exemplo, os elementos radioativos são usados para acompanhar o movimento de produtos químicos dentro dos organismos. Na agricultura, servem para medir a quantidade de fertilizantes absorvidos pelas plantas.

Em Medicina, as radiações liberadas por alguns elementos, como o cobalto radioativo, são usadas para destruir certos tipos de câncer.

Uma das aplicações da radiação gama é a eliminação de microrganismos, por isso ela é usada para esterilizar seringas e para conservar certos tipos de alimentos.

Os elementos radioativos são usados também para diagnosticar doenças. Na suspeita de algum tumor na glândula tireóidea, por exemplo, a pessoa toma uma pequena quantidade de iodo radioativo, o iodo-131, para depois tirar uma radiografia, verificando se o iodo radioativo concentrou-se em alguma região da glândula. A quantidade de radiação emitida nesse tipo de exame é muito pequena, e não apresenta perigo algum.

Quando o núcleo de um átomo de urânio-235 é bombardeado por nêutrons, ele pode se partir em dois núcleos menores e emitir mais nêutrons, além de liberar uma quantidade enorme de energia. Esse processo de quebra do núcleo em dois núcleos menores é chamado fissão nuclear, e é uma das formas de obter energia nuclear.

CAPÍTULO 12

1. a) O chimpanzé é o primata mais próximo; enquanto o lêmure e o társio são os mais distantes.

b) A capacidade de caminhar sobre os dois pés possibilitou que as mãos ficassem livres para segurar e manipular objetos. Isso fez com que os seres humanos se tornassem capazes, por exemplo, de recolher e transportar alimentos e crianças, pegar pedras e galhos que podem ser usados como armas, manusear instrumentos delicados de trabalho, etc.

c) Há 8 milhões de anos.

2. e

3. b

4. c

5. d

6. a
7. b
8. 01 + 04 + 08 = 13
9. c
10. e

Unidade 4

CAPÍTULO 13

1. Não, porque não são da mesma espécie. Sim, se ambos viverem na mesma área pertencerão à mesma comunidade.
2. As duas espécies possuem o mesmo *habitat* (ambas vivem na mata Atlântica), mas não ocupam o mesmo nicho, já que uma delas se alimenta do néctar das flores e a outra come insetos.
3. a) Florestas tropicais e cerrados da América do Sul e da América Central.
   b) Tem hábitos diurnos e alimenta-se principalmente de cupins e formigas.
   c) O longo focinho, a língua, o olfato bem desenvolvido e as fortes garras para cavar.
4. Têm o mesmo *habitat*, mas não o mesmo nicho, pois sua alimentação é diferente.
5. As espécies especialistas, uma vez que a destruição de um tipo de ambiente específico pode provocar sua extinção.
6. a) Nicho ecológico: conjunto de condições e recursos que permitem a sobrevivência de uma população em seu *habitat*. *Habitat*: espaço geográfico ocupado pela população.
   b) *Habitats* extensos com nichos ecológicos desocupados, ou parcialmente ocupados, podem ser invadidos por espécies exóticas, as quais competem com as espécies nativas pelos recursos do meio.
7. a) Comunidade.
   b) Ecossistema.
8. c
9. e
10. d
11. e

Trabalho em equipe

a) A partir dos anos 1970, as organizações não governamentais (ONGs), entidades sem fins lucrativos (elas podem receber financiamentos e doações do governo e de entidades privadas para trabalhar em seus objetivos), ganharam importância na busca de solução para os problemas nas áreas ambientais, sociais ou culturais de um país ou de uma comunidade. Hoje há milhares de ONGs atuando nas mais diversas áreas, variando de grupos locais com poucos membros a entidades internacionais, como o Fundo Mundial para a Natureza (WWF). Na área ambiental, as ONGs colaboram elaborando projetos para a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas e da biodiversidade, atuando muitas vezes em conjunto com o governo.

b) Uma das lições que podemos tirar do estudo da Ecologia é que todos os seres vivos estão ligados entre si e com o ambiente físico, influenciando-se mutuamente. Essa interdependência é tão grande que alguns cientistas comparam a Terra a um imenso organismo vivo: é a hipótese Gaia (ou teoria de Gaia), formulada nos anos 1970 pelo cientista britânico James Lovelock (1919-). Na mitologia grega, Gaia é a deusa que personifica a Terra. Segundo essa hipótese, a Terra teria a capacidade de se autorregular por meio de mecanismos de *feedback* (retroalimentação). Os seres vivos não se limitariam a adaptar-se aos fatores físicos: eles modificariam fatores como a temperatura e a composição química da atmosfera de modo a tornar a Terra propícia ao surgimento da vida e à sua manutenção.
Lovelock afirma também que qualquer organismo que afete o ambiente de maneira negativa poderá ser eliminado. Como o aquecimento global foi provocado pelo ser humano, para ele a humanidade corre o risco de ser extinta.
Embora os cientistas concordem que a vida, desde seu surgimento, tenha influenciado bastante as características do planeta, muitos acham que não é adequado afirmar que a Terra é viva e que a ação dos seres vivos não é tão efetiva para a manutenção do equilíbrio do planeta. Apesar das críticas, a comparação com

um organismo serve para nos alertar da profunda inter-relação entre os seres vivos e o ambiente.

CAPÍTULO 14

1. Capim: produtor; gafanhoto, coelho e rato: consumidores primários; lagarto e serpente: consumidores secundários; gavião: consumidor secundário e terciário.
2. Nos ursos-polares, já que, devido à magnificação trófica, a concentração de poluentes aumenta ao longo da cadeia.
3. Quando come arroz, é consumidor primário e quando come um bife, consumidor secundário.
4. Porque o ecossistema precisa, constantemente, receber energia de fora, sendo o Sol a fonte externa de energia.
5. Essas aves alimentaram-se de insetos e, com isso, o agrotóxico, por ser persistente, acumulou-se em seu organismo.
6. Sim. Como os besouros serão comidos pelos peixes, sua população diminuirá, o que fará com que a população de microcrustáceos aumente e a de algas diminua.
7. d
8. a) A figura representa uma teia alimentar terrestre. O organismo **X** é decompositor, porque atua em todos os níveis tróficos da teia alimentar, exceto como produtores.
   b) O desaparecimento das aves causaria o desequilíbrio ecológico da teia alimentar. O desaparecimento das plantas causaria a extinção da teia alimentar.
9. a) À energia liberada no processo de respiração celular.
   b) Porque a energia disponível para o nível trófico seguinte é muito pequena e não pode sustentar uma população de consumidores quaternários.
10. Os metais pesados e outros poluentes apresentam aumento de concentração ao longo da cadeia alimentar. Assim, os organismos que estão na base da cadeia apresentam menor concentração de produtos tóxicos. Portanto, o mais indicado para consumo seria o pacu, único consumidor primário da tabela.
11. a) Pirâmide de energia. Porque a energia diminui de um nível trófico para o seguinte, a partir dos produtores (**1**), em todas as cadeias alimentares.
    b) Pirâmide de biomassa. Em ecossistemas aquáticos, a biomassa dos produtores (**1**), representados pelas algas do fitoplâncton, é menor do que a biomassa dos consumidores primários (**2**), representados pelos organismos microscópicos do zooplâncton, como microcrustráceos e diversas larvas. A velocidade de reprodução dos produtores é maior do que a capacidade reprodutiva dos consumidores primários. O nível trófico **3** pode ser representado pelos peixes que se alimentam dos organismos do zooplâncton.
12. b
13. b
14. c
15. d
16. d
17. d

Trabalho em equipe

a) Os plásticos são feitos de polímeros, que são macromoléculas em que determinada unidade molecular se repete muitas vezes. No caso do polietileno, por exemplo, essa unidade é $-CH_2-CH_2-$. Outros componentes dos plásticos são o policloreto de vinila (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS), etc.
Os plásticos em geral demoram muito para se decompor, o que pode causar problemas ao ambiente. Calcula-se que cerca de 90% do lixo flutuante nos oceanos é formado por materiais plásticos. Peixes, aves, tartarugas, focas e leões-marinhos podem ingerir pedaços de plástico e morrer sufocados. Antes de jogar um objeto de plástico no lixo, pense se ele não pode ter outras utilidades. Um saco plástico de supermercado, por exemplo, pode ser reutilizado. Você pode também diminuir o consumo desses produtos usando, por exemplo, uma bolsa de pano para transportar os produtos.
O plástico pode ser reciclado e utilizado para fabricar novos materiais: garrafas, baldes, cerdas de vassouras, sacolas, entre muitos outros produtos para residências e indústrias. Um dos plásticos mais reciclados é o PET (polietileno

tereftalato), encontrado nas garrafas plásticas para bebidas.

Reduzir o consumo e promover a reciclagem contribuem para diminuir o consumo de petróleo (plásticos são produzidos a partir do petróleo) e a poluição, além de aumentar a vida útil dos aterros sanitários e gerar empregos.

b) O livro *Primavera silenciosa*, da bióloga estadunidense Rachel Carson (1907-1964), foi um dos marcos da conservação ambiental no século XX, questionando a confiança cega da humanidade em qualquer nova tecnologia.
No livro, Rachel relata a história do Lago Clear. O lago fica em uma região montanhosa, próxima a São Francisco (Estados Unidos), e é um dos locais prediletos dos pescadores da região. Lá havia muitos mosquitos que incomodavam quem visitava o local. Por isso, as autoridades decidiram aplicar no lago um inseticida à base de hidrocarboneto clorado, o DDD, muito semelhante ao DDT, em uma dosagem mínima, correspondente a uma parte de DDD para 70 milhões de partes de água. Após cinco anos, como os mosquitos ainda proliferavam, decidiram fazer uma nova aplicação. Os mosquitos desapareceram.
No inverno seguinte, alguns mergulhões começaram a morrer. Essas aves eram atraídas pela abundância de peixes do lago. Quando o tecido adiposo dos mergulhões foi analisado, detectaram alta concentração de DDD: em torno de 1 600 ppm. Novas pesquisas foram iniciadas e percebeu-se que o plâncton presente nas águas continha também alta concentração de DDD, de cerca de 5 ppm. Nos peixes herbívoros, que comiam o plâncton, essa concentração chegava a 300 ppm, e nos peixes carnívoros, como o bagre, a 2 500 ppm. O que espantava os cientistas era o fato de as amostras de água do lago praticamente não apresentarem o veneno.
Esse desequilíbrio afetou a reprodução de mergulhões, cuja população, que até então era de cerca de mil casais, reduziu-se drasticamente após a primeira aplicação do inseticida, até que nenhum mergulhão novo foi observado.
Após uma série de pesquisas, descobriu-se que o DDT e outros inseticidas do mesmo grupo faziam as cascas dos ovos das aves ficarem tão fracas que se quebravam antes da eclosão. A partir de 1972, esse grupo de inseticidas foi proibido ou acabou tendo um uso bastante restrito.

CAPÍTULO 15

1. No trecho **a**, as bactérias crescem exponencialmente, uma vez que há alimento e espaço suficiente para uma população inicial pequena. No trecho **b**, pode estar ocorrendo falta de alimento e acúmulo de resíduos, o que provoca uma mortalidade elevada e consequente declínio da população.
2. Alguns fatores que provocaram a redução nas taxas de mortalidade humana foram: melhoria do saneamento básico, controle de doenças infecciosas por vacinas e antibióticos, maior produção de alimentos e descoberta de novas técnicas de conservação de alimentos.
3. A quantidade de plantas pode diminuir. Com isso, o número de herbívoros também diminui, o que provoca, por sua vez, uma diminuição no número de predadores.
4. a) Falsa; o crescimento econômico pode trazer também poluição e desequilíbrios ecológicos.
   b) Falsa; a cultura e a tecnologia podem favorecer o crescimento populacional (pela redução da mortalidade, por exemplo) ou diminuí-lo (com políticas de controle da natalidade).
5. a) O crescimento da população de predadores nos pontos **I**, **II** e **III** está relacionado com o aumento anterior do número de presas.
   b) A população de herbívoros aumentaria inicialmente. Após determinado tempo entraria em declínio por causa da falta de alimento.
6. a) A linha **II** representa a população de plantas e a linha **III** representa a população de herbívoros.
   b) A redução na predação ou no número de predadores provocou um aumento na população de herbívoros no tempo **2**.
   c) O aumento no número de herbívoros ou na herbivoria provocou uma diminuição na população de plantas no tempo **3**.
   d) A diminuição no número de plantas, ou de recursos alimentares provocou uma diminuição na população de herbívoros no tempo **4**.
7. b
8. a
9. b

10. c
11. d
12. b
13. d
14. b
15. c
16. b

Trabalho em equipe

1. Para medir as variações no padrão da qualidade de vida das diferentes populações do globo, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) criou o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). A apuração desse índice leva em conta três fatores: educação, longevidade e renda. Isso porque a conquista de bem-estar para todos pressupõe o direito a uma existência longa e saudável e a uma qualidade de vida compatível com as últimas aquisições científicas e tecnológicas da humanidade.

   Em relação à educação, são levados em conta dois indicadores: os alfabetizados (capazes de ler e escrever um bilhete simples) e os matriculados de qualquer idade em todos os níveis de ensino. A longevidade da população considera a taxa de mortalidade infantil e a expectativa de vida ao nascer, sintetizando as condições de saúde e salubridade. O IDH varia de 0 a 1. Quanto mais perto de 1, maior é o bem-estar. Países ricos têm IDH próximo a 1; países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, mais perto de 0.

   Quanto à renda, as riquezas produzidas pelo país são divididas pelo número de habitantes. Trata-se do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, calculado por meio do dólar PCC (paridade do poder de compra), valor que elimina as diferenças do custo de vida entre os países, avaliando o que a renda permite comprar em cada um.

2. A população dos países da Europa ocidental que passou pelo processo de industrialização no século XIX sofreu uma mudança chamada de transição demográfica: com a industrialização ocorre primeiro a redução na taxa de mortalidade, seguida de redução na taxa de natalidade. Com isso, o tamanho da população se estabiliza ou pode até diminuir, como em alguns países europeus.

   Alguns economistas acreditam que, nas próximas décadas, muitos países em desenvolvimento passarão por uma transição demográfica, com redução nas taxas de mortalidade e de natalidade. No entanto, vários fatores, como a alta taxa de mortalidade em países africanos em decorrência da Aids e o elevado número de nascimentos com baixo crescimento econômico, podem alterar as projeções.

CAPÍTULO 16

1. Mutualismo facultativo ou protocooperação. Porque quando juntas, o crescimento das duas populações se estabiliza com uma densidade maior de indivíduos, mostrando que ambas foram beneficiadas.
2. a) O gafanhoto ganha proteção, porque, confundido com o besouro, passa a ser evitado por eventuais predadores. Esse fenômeno é denominado mimetismo.

   b) Na população de gafanhotos ancestrais, podem ter surgido indivíduos que, por mutação, tenham se tornado parecidos com o besouro e, assim, tiveram mais chance de sobreviver e se reproduzir. Dessa forma, por seleção natural, o número desses gafanhotos aumentou na população ao longo do tempo.
3. a) Tilápias e larvas do mosquito: predatismo; plasmódio e ser humano: parasitismo.

   b) Poderá aumentar, porque o número de tilápias pode diminuir devido à predação do novo peixe.
4. Diferentemente da orquídea, o cipó-chumbo retira alimento da árvore e prejudica-a.
5. Mutualismo: + +; protocooperação: + +; comensalismo: + 0; competição interespecífica: – –; predatismo: + –.
6. a) Competição.

   b) Sim; o número de herbívoros poderia aumentar.
7. a) É possível identificar relações de parasitismo entre: carrapato e gado bovino; erva-de-passarinho e árvore hospedeira.

   b) Relações interespecíficas de benefício mútuo: liquens (algas e fungos) – mutualismo; anu e boi – protocooperação.

   Relação intraespecífica: cupinzeiro – sociedade.
8. a) Predação é a relação ecológica em que uma espécie de animal (predador) mata e se alimenta de indivíduos de outra espécie animal (presa).

b) Com o passar do tempo, a intensificação da predação tende a diminuir o tamanho populacional de presas.

c) O tamanho da população de presas serve de referência para o controle da densidade populacional de predadores. Com o aumento da taxa de predação, a população de presas diminuirá, o que levará, consequentemente, a uma diminuição da população de predadores.

9. a

10. d

11. c

12. e

13. c

14. d

15. a

16. d

CAPÍTULO 17

1. a) Porque os liquens conseguem sobreviver nas condições de uma área desabitada, que não são propícias ao crescimento de plantas. Ao se instalarem, os liquens acabam modificando as condições do solo, favorecendo com isso a instalação de plantas.

b) Não, nesse caso a biomassa está aumentando, uma vez que a figura representa estágios de uma sucessão ecológica, um fenômeno completamente diferente de uma cadeia alimentar.

c) A região tende a ser reocupada por uma floresta, em um processo semelhante ao que ocorreu no primeiro caso, ou seja, haverá uma nova sucessão ecológica.

2. Deve ter ocorrido uma sucessão ecológica (sucessão primária).

3. Sucessão ecológica. Os organismos pioneiros que colonizaram a ilha após a queimada condicionaram os novos padrões microclimáticos e químicos do solo que permitiram o aparecimento de outras espécies mais desenvolvidas.

4. O primeiro, pois sua plantação vai favorecer o crescimento da população dos insetos predadores por encontrarem abundância de alimento e não haver mais predadores ou parasitas desses insetos, que controlariam o tamanho da população.

5. a

6. e

7. b

8. e

9. b

Unidade 5

CAPÍTULO 18

1. Essa atitude é correta pois o feijão e outras leguminosas possuem bactérias que fixam o nitrogênio atmosférico, fertilizando o solo.

2. A taxa de radiação ultravioleta devia estar alta naquele horário. Por isso a recomendação para a população usar roupas e acessórios que a protegessem contra essa radiação. O aumento da radiação pode ter sido provocado pela destruição da camada de ozônio por CFCs e outros gases.

3. a) O aumento de CO_2 na atmosfera está diretamente relacionado com o aumento da temperatura global. O CO_2 retém raios infravermelhos, o que provoca aumento de temperatura.

b) Porque pode provocar alterações climáticas, aumento da temperatura da água nos oceanos e derretimento das geleiras.

c) O desmatamento, ou seja, a diminuição da fotossíntese, pode aumentar a quantidade de CO_2 na atmosfera e com isso elevar a temperatura do planeta.

4. a) Processo de amonificação: conversão de nitrogênio (N_2) em amônia (NH_3) e íons de amônia (NH_4), realizada em grande parte por bactérias simbiontes (*Rhizobium*) presentes em raízes de plantas leguminosas e também por organismos de vida livre, como, por exemplo, bactérias aeróbicas (*Azobacter*) e anaeróbicas (*Clostridium*), cianobactérias e fotossintetizantes (*Rhodospirillum*). Esse processo possibilita a absorção da amônia pelos vegetais em geral e sua utilização na síntese de compostos nitrogenados.

b) Alguns exemplos da ação inadequada do homem sobre o ecossistema e suas consequências sobre o ciclo do nitrogênio:

- queimadas — destruição dos microrganismos e da cobertura vegetal, limitando a fixação do nitrogênio e a continuidade de seu ciclo;
- utilização de fertilizantes químicos — deposição de nitratos em excesso no solo (nitrificação), provocando eutrofização e desequilíbrio dos nichos ecológicos;

- desmatamento — retirada da cobertura vegetal, reduzindo a fixação do nitrogênio e, ainda, a desnitrificação;
- monocultura — exposição excessiva do solo a um tipo de cultura (não leguminosa), provocando o seu desgaste e dificultando a reposição do nitrogênio absorvido pelas plantas;
- pecuária intensiva — pastagem e pisoteio excessivo, provocando destruição da vegetação, esgotamento do solo e, consequentemente, redução da fixação do nitrogênio e a continuidade do ciclo;
- poluição atmosférica — oxidação do nitrogênio em ácido nítrico (NO), depositado no solo por ação da chuva ácida, interferindo no ciclo do nitrogênio (fixação biológica, nitrificação e desnitrificação).

5. d
6. b
7. b
8. d
9. a
10. b
11. e
12. a, c, d
13. a
14. a
15. e
16. F – V – F – V – V
17. a
18. 04 + 64 = 68
19. a
20. 02 + 04 + 16 = 22

Trabalho em equipe

1. Na forma de transmissão conhecida como irradiação, o calor é propagado por meio de ondas eletromagnéticas. Os resultados da pesquisa dependem da situação do problema na época de sua realização.
2. De toda a água doce superficial do planeta (rios e lagos), 12% ficam no Brasil. O país também possui uma das maiores reservas de água subterrânea do mundo, o aquífero Guarani, localizado a uma profundidade entre 50 m e 1 500 m (a água fica entre os espaços das rochas). Com 1,2 milhão de quilômetros quadrados, esse aquífero passa por baixo de oito estados brasileiros, pelo Paraguai, pelo Uruguai e pela Argentina.

   A distribuição da água no Brasil, assim como no resto do mundo, não é uniforme. A região Norte, com 6,98% da população, dispõe de 68,5% da água do país, e o Nordeste, com 28,91% da população, tem 3,3%. O Sudeste, onde vivem 42,65% dos brasileiros, conta com 6%. O Sul, com uma população de 15,05%, conta com 6,5%, e o Centro-Oeste, com 6,41% da população, tem 15,05%. (Dados disponíveis em: <www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf>; acesso em: 11 maio 2016).

- A distribuição de água pelo mundo é bastante desigual:

Distribuição de água doce superficial no mundo

Região	Total de recursos hídricos (%)
África	9,7 %
Américas	39,6 %
Ásia	31,8 %
Europa	15 %
Oceania	3,9 %

Fonte: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf> (acesso em: 9 maio 2016).

Em relação ao tamanho da população, a América do Sul e a Oceania são as regiões com maior disponibilidade de água.

- A agricultura, pela irrigação, responde pelo consumo de 70% de toda a água doce utilizada no mundo; 22% são usados na indústria; e 8% vão para uso doméstico. (Dados disponíveis em: <www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf>; acesso em: 11 maio 2016).
- De acordo com relatório da ONU, caso não sejam adotadas medidas mais sustentáveis para o consumo de água, até 2030, haverá um *déficit* de 40% entre a demanda e a disponibilidade desse recurso. (Dados disponíveis em: <https://nacoesunidas.org/ate-2030-planeta-pode-enfrentar-deficit-de agua-de-ate-40-alerta-relatorio-da-onu/>; acesso em: 16 maio 2016).
- O consumo de água já não pode ser utilizado como parâmetro da prosperidade de uma população, uma vez que é possível aliar qualidade de vida e consumo consciente e sustentável. Observe a tabela a seguir:

Consumo médio diário de água por habitante

Cidade (País)	Quantidade média de água consumida diariamente (L)
Milão (Itália)	470
Buenos Aires (Argentina)	375
Rio de Janeiro (Brasil)	312
Tóquio (Japão)	230
São Paulo (Brasil)	190
Distrito Federal (Brasil)	188
Londres (Reino Unido)	170
Nova York (Estados Unidos)	130
Lisboa (Portugal)	125
Madri (Espanha)	120

Fonte: International Water Association, Organização Não Governamental (ONG).

- Tudo que é produzido tem um custo em consumo de água. Veja alguns exemplos:

Consumo de água para a produção de itens do dia a dia

Produto	Quantidade de água utilizada na produção (L)
Arroz (1 kg)	2 497
Café (xícara de 125 mL)	132
Carne bovina (1 kg)	15 415
Carne de frango (1 kg)	4 325
Chocolate (1 kg)	17 196
Leite (copo de 150 mL)	255
Maçã (1 kg)	822
Ovo (uma unidade)	196

Fonte: <http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/> (acesso em: 9 maio 2016).

3. O carvão mineral e o petróleo são formados por uma mistura de substâncias orgânicas. O carvão mineral formou-se ao longo de milhões de anos, a partir da decomposição e da transformação de plantas mortas, cobertas por depósitos de terra e submetidas a altas pressões.

Do mesmo modo, algas e outros seres microscópicos aquáticos foram soterrados e acabaram se transformando em petróleo. Durante esse processo, a decomposição dos organismos também liberou um gás, o gás natural, usado como combustível.

O petróleo é extraído de depósitos subterrâneos, localizados sob a terra ou sob o mar, por meio da perfuração de poços. Depois de sua extração, ele é transportado para refinarias, onde se faz a purificação e a separação dos seus componentes. Surgem assim vários produtos: gasolina, querosene, óleo diesel e gás de cozinha, conhecido como gás liquefeito do petróleo (GLP). A partir do petróleo são fabricados ainda muitos produtos: tinta, asfalto, plásticos, detergente, borracha sintética, etc.

Além de serem recursos naturais não renováveis (esses materiais não são recompostos na natureza na mesma velocidade em que são consumidos), o carvão mineral e o petróleo poluem o ambiente e, ao liberarem gás carbônico, contribuem para o aquecimento global e para a poluição do ar (monóxido de carbono e outras substâncias). Em 2006, o petróleo, o carvão mineral e o gás natural representavam cerca de 87% da produção de energia no mundo e cerca de 50% no Brasil.

4. A energia solar pode ser usada para aquecer reservatórios de água ou para gerar eletricidade. Nesse caso, placas metálicas recobertas de silício (células fotovoltaicas) geram correntes elétricas utilizando a energia solar. O problema é que o custo para instalação desse equipamento ainda é alto se comparado com a quantidade de energia obtida. No entanto, em muitos países, inclusive no Brasil, a energia solar já é usada com estas finalidades: aquecer a água das casas, produzir energia elétrica, desidratar alimentos, dessalinizar a água do mar. No Brasil, os estudos sobre aproveitamento da energia solar vêm sendo desenvolvidos nas universidades de Campinas (SP) e da Paraíba, no Centro Técnico da Aeronáutica (SP) e no Instituto de Pesquisa da Marinha (RJ).

A energia eólica deriva do fato de que o Sol aquece de forma diferente as regiões da Terra. As diferenças de temperatura entre as regiões provocam o deslocamento de massas de ar, gerando os ventos. A energia eólica é a produzida pelos ventos, que fazem girar hélices, gerando energia elétrica. A energia eólica não é, portanto, produtiva em locais de poucos ventos. Nos Estados Unidos e na Europa, a energia eólica é usada para a geração de eletricidade. No Brasil, Fortaleza (CE), Olinda e o arquipélago de Fernando de Noronha (PE) já possuem eletricidade gerada pelos ventos. A energia eólica é usada também para extrair água de poços em zonas agrícolas, inclusive no Brasil.

5. O Sol faz a água evaporar e depois cair em forma de chuva, abastecendo rios, represas e lagos. A energia hidrelétrica pode ser gerada por quedas-d'água e por barragens que represam as águas do rio e formam grandes reservatórios de água. A queda da água faz girar as rodas de turbinas, gerando energia elétrica. Ao contrário da energia obtida com a queima do petróleo, a energia hidrelétrica não polui o ar e emprega um recurso natural renovável. No entanto, nem todos os países possuem recursos hídricos suficientes. Além disso, a construção de usinas hidrelétricas pode resultar em alagamento de grandes áreas, gerando desequilíbrios ambientais e extinção de espécies selvagens. Ainda, para que seja possível gerar energia nessas usinas, é necessário que os reservatórios tenham volume suficiente de água para acionar as turbinas. Por isso, a falta de chuvas em certas épocas do ano pode trazer problemas. No Brasil, mais de 95% da energia elétrica provém das usinas hidrelétricas e muitos acham que essa grande dependência pode causar problemas para o abastecimento de energia. Outro problema é a localização dos recursos hídricos ainda disponíveis, que estão longe das áreas de maior consumo de energia, o que exige grandes investimentos na construção de linhas de transmissão.

A energia nuclear origina-se do núcleo dos átomos radioativos, como o urânio. Quando seu núcleo é bombardeado por nêutrons, esses átomos radioativos se partem em átomos menores e emitem energia na forma de radiação. Esse processo é chamado fissão nuclear.

Dependendo da massa de átomos submetida à fissão, entre outros fatores, a energia liberada é capaz de provocar uma enorme explosão. Por isso, pode ser usada na produção de bombas atômicas. Mas a fissão nuclear também pode ser aproveitada como fonte de energia nas usinas nucleares. O calor liberado na fissão aquece a água, transformando-a em vapor. O vapor movimenta uma turbina, que gera energia elétrica. Um dos problemas da energia nuclear é o risco de acidentes que trazem graves consequências, já que as radiações podem provocar câncer e doenças genéticas.

Além disso, o funcionamento da usina nuclear produz elementos radioativos, que devem ser armazenados por longos períodos e não podem escapar para o ambiente. A energia nuclear pode ser liberada também quando dois núcleos se unem e formam outro núcleo maior. É o processo conhecido como fusão nuclear, que ocorre sob as altas temperaturas encontradas no Sol e em outras estrelas. Na parte central do Sol, a cada segundo, milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em hélio por fusão nuclear. A fusão nuclear pode ser utilizada nas bombas de hidrogênio, mas a ciência ainda não conseguiu empregá-la na liberação de energia de forma controlada em usinas nucleares. Uma esperança para diminuir a poluição nas grandes cidades é o uso do gás hidrogênio como combustível em carros e ônibus. Como a reação do hidrogênio com o oxigênio produz apenas água, os veículos deixariam de poluir o ar. No entanto, a produção de hidrogênio precisa de energia e, dependendo da fonte utilizada, continuaria a existir poluição do ar no local de produção do hidrogênio.

Ao contrário da energia liberada pela queima de combustíveis fósseis, a energia nuclear não contribui para o aquecimento global, pois não produz gás carbônico; também não aumenta a poluição do ar, pois não produz monóxido de carbono, dióxido de enxofre ou outros gases tóxicos. Muitos consideram que essa forma de produção de energia é a opção ideal para os países que têm pouca disponibilidade de recursos para investir em outras formas de energia, como a hidrelétrica. Mas a energia nuclear apresenta pelo menos um problema: o risco de acidente como o que ocorreu na Ucrânia, quando uma usina liberou na atmosfera grande quantidade de partículas radioativas.

Essas partículas podem ser extremamente prejudiciais ao ambiente, pois provocam danos irreversíveis aos seres vivos. O estrôncio-90, por exemplo, quando liberado em testes nucleares ou em vazamentos de usinas, permanece no ambiente por cerca de 29 anos (duração de sua meia-vida) e pode penetrar nas cadeias alimentares, acumulando-se nos organismos vivos e provocando leucemia. Os defensores do uso da energia nuclear argumentam que os riscos podem ser bastante reduzidos quando a construção dos reatores obedece aos rígidos padrões prescritos e a manutenção deles é adequada. Mas há também o problema do armazenamento do lixo atômico, ou seja, dos resíduos radioativos produzidos nas usinas nucleares. Em geral, esse lixo é armazenado em recipientes

de cimento ou aço que previnem que o material entre em contato com o ambiente.

6. Energia geotérmica é a energia obtida a partir do calor vindo do interior da Terra. Esse calor é gerado do magma, formado por rochas derretidas abaixo da crosta terrestre. Em alguns pontos do planeta o magma está localizado muito próximo à superfície e seu calor provoca o aquecimento da água subterrânea. Essa água, quando superaquecida, jorra na forma de jatos: é o gêiser. Na Islândia, onde há muitos gêiseres, essa água quente é bombeada para as casas e usada para aquecimento. Podem ser abertos no chão buracos fundos até os reservatórios da água e vapor. Outra possibilidade é despejar água fria, que se infiltra nas rochas quentes e é convertida em vapor, que pode ser usado em turbinas para gerar energia elétrica. O problema é que em muitos lugares há necessidade de cavar buracos muito profundos (de até 15 km), tornando a tecnologia cara.

   A biomassa é a quantidade de matéria orgânica contida nos organismos. Usamos energia de biomassa quando queimamos madeira, dejetos de criação animal, matéria orgânica do lixo, biodiesel (combustível obtido de óleos vegetais, como a soja e o girassol), bagaço da cana, etc. O álcool é outra fonte energética derivada da biomassa. No entanto, em alguns casos, como o do biodiesel e do álcool, há necessidade de grandes áreas de terra para cultivo. Além disso, a energia de biomassa também pode contribuir para a poluição do ar — embora o uso de fontes renováveis de energia ajude a diminuir a emissão de gás carbônico. O Brasil é responsável por cerca de 40% de toda a produção mundial de etanol e muitos automóveis nacionais têm motor bicombustível (também chamado motor *flex*), isto é, que podem funcionar tanto com etanol como com gasolina. Além do Brasil, os principais produtores de etanol no mundo são os Estados Unidos (milho), o Canadá (trigo e milho), a China (mandioca), a Índia (cana-de-açúcar) e a Colômbia (cana-de-açúcar e óleo de palma). O Brasil também produz biodiesel, mas, nesse caso, os maiores produtores são a Alemanha, a França, a Itália e os Estados Unidos. O uso de biocombustíveis apresenta algumas vantagens: contribui para diminuir o aquecimento global, pode aumentar a oferta de trabalho no campo, sua produção é mais barata que a de combustíveis fósseis. Mas também tem desvantagens: se a lavoura para a produção de alimentos for substituída por lavouras para a produção de biocombustíveis, a produção de alimentos diminui e seu custo aumenta. Além disso, as plantações podem ameaçar reservas de matas nativas e, consequentemente, a biodiversidade.

   Para aproveitar a energia das marés é construído um reservatório junto ao mar, com turbinas e geradores. A água invade o reservatório com a maré alta e sai com a maré baixa. Nesse movimento, a turbina é acionada, gerando energia elétrica. É uma energia que pode ser aproveitada onde há grande diferença de nível entre a maré baixa e a maré alta. Mas, as variações no ciclo das marés dificultam o fornecimento regular de energia e o custo das instalações ainda é alto comparado com a quantidade de energia obtida.

CAPÍTULO 19

1. O gráfico **A** representa o deserto, pois mostra temperaturas muito elevadas no verão e precipitação muito baixa (praticamente nula) o ano todo. O gráfico **B** representa a tundra, pois mostra que as temperaturas são muito baixas ao longo de todo o ano, atingindo valores negativos no período correspondente ao inverno. E o gráfico **C** representa a floresta tropical, porque registra precipitação e temperaturas elevadas praticamente o ano todo.
2. **1**: Amazônia; **2**: Cerrado; **3**: mata Atlântica. O ecossistema proporcionalmente mais afetado é a mata Atlântica. O ciclo da soja foi o que mais afetou o cerrado.
3. A afirmativa não tem nenhum argumento lógico. Além de muitos animais viverem nos manguezais, outros vêm do mar e passam apenas uma fase da vida nesse ambiente, que funciona, então, como um grande viveiro, no qual várias espécies se reproduzem e se desenvolvem. Os manguezais servem também para amortecer o impacto das marés e para reter sedimentos trazidos pelos rios, evitando o assoreamento das praias.
4. d
5. e
6. a) A energia necessária para a produção rápida da biomassa das folhas novas provém das reservas

de matéria orgânica armazenadas no caule e nas raízes das plantas da Caatinga.

b) Não. A pluviosidade na Caatinga é menor do que no cerrado e irregular ao longo dos anos. A pluviosidade no Cerrado é mais intensa e regular, principalmente na primavera e no verão.

7. a) A intensa decomposição aeróbica nas águas dos manguezais reduz a taxa de oxigênio dissolvido na água. Assim, a presença de raízes respiratórias em plantas de manguezal está relacionada ao fato de delas viverem parcialmente submersas em água salobra pobre em oxigênio.

b) Plantas de manguezal dotadas de raízes respiratórias são o resultado da seleção natural, agindo sobre variações surgidas por mutação e recombinações gênicas.

8. a

9. a

10. a

11. e

12. b

13. d

14. d

15. c

16. 02 + 04 + 08 = 14

17. a

18. b

Trabalho em equipe

O objetivo das atividades dessa seção são aumentar o conhecimento e a conscientização do aluno sobre os problemas ambientais dos biomas brasileiros, principalmente porque se trata de um assunto que precisa estar em constante atualização.

CAPÍTULO 20

1. Isso depende do tipo de gases eliminados pelas chaminés da indústria. Se foram gases de nitrogênio e enxofre, o ecologista pode estar certo, porque esses gases se combinam com o vapor de água do ar e formam ácidos, que, com a chuva (chuva ácida), podem atingir os corpos d'água e prejudicar a vida aquática.

2. O petróleo forma uma película escura sobre a água, que reduz a passagem da luz e impede a troca de gases entre água e atmosfera, prejudicando a fotossíntese e a respiração dos seres aquáticos. Com isso, o fitoplâncton, que é a base das cadeias alimentares no oceano, é destruído, o que pode levar muitos outros animais à morte. Outra parte do petróleo afunda e intoxica animais diversos, como peixes, crustáceos e moluscos. O petróleo também adere às brânquias dos peixes, impedindo que respirem, e aos pelos de mamíferos e penas de aves, diminuindo o isolamento térmico desses animais e provocando sua morte por hipotermia.

3. Além de razões de ordem ética e estética, que são muito importantes, é bom lembrar que as baleias, como qualquer espécie viva, integram teias alimentares e que, portanto, sua extinção poderia provocar graves desequilíbrios ecológicos. A extinção de espécies também leva à perda de substâncias potencialmente benéficas para a humanidade e reduz a possibilidade de se conhecer melhor o funcionamento da natureza como um todo.

4. a) O solo perde seus nutrientes. O desmatamento empobrece o solo porque a cobertura vegetal protege a terra, por exemplo, contra a ação da água das chuvas que carrega os minerais do solo e pode também causar desabamentos.

b) O solo deve ser cultivado de modo a diminuir ao máximo a erosão e o esgotamento dos seus minerais com técnicas como a rotação de culturas.

Nas encostas, onde a erosão é maior, as plantações podem ser feitas em degraus ou terraços.

Ao lado de áreas destinadas a culturas, deve ser preservada uma região com vegetação natural, ocupando áreas críticas, como as encostas íngremes e as margens de rios e lagos.

5. a) **1**. bactérias aeróbicas; **2**. nutrientes; **3**. oxigênio; e **4**. peixes.

b) A partir do tempo $\mathbf{t_2}$, o número de bactérias aeróbicas aumenta devido à disponibilidade de matéria orgânica na água.

Devido ao consumo do oxigênio dissolvido na água, o número de peixes diminui porque esses animais não conseguem sobreviver em ambientes pobres em oxigênio.

6. a) A mata ciliar dificulta a erosão das margens dos rios e, portanto, diminui a possibilidade da ocorrência de assoreamento e eutrofização das águas.

b) Plantas exóticas podem eliminar, por competição, a mata nativa e não cumprir seu papel de manter a qualidade dos rios, lagos e outras coleções de águas continentais.

c) A recuperação da mata ciliar permite a restauração do *habitat* do primata, auxiliando a preservação da espécie.

7. d

8. d
9. c
10. d
11. c
12. c
13. b

Atividade prática

Essa atividade tem o objetivo de fazer o aluno perceber, na prática, que a reciclagem é possível. O professor pode aproveitar e discutir com os alunos por que essa atitude é tão importante para o meio ambiente.

Trabalho em equipe

O objetivo dessa atividade é familiarizar o aluno com os problemas atuais causados pela poluição no Brasil e pela exploração sem controle dos recursos naturais, além de aumentar sua conscientização sobre essa situação. A resposta dos quatro primeiros itens vai depender do momento em que as pesquisas forem realizadas. Veja a seguir a resposta do último item:

e)
- O engenheiro ambiental orienta empresas e órgãos públicos para que o desenvolvimento econômico seja sustentável, respeitando os limites dos recursos naturais, desenvolvendo tecnologias para proteger o ambiente e realizando estudos de impacto ambiental, gerenciamento de energia, tratamento de esgoto, recuperação de áreas degradadas, etc. A duração média do curso é de cinco anos.
- O engenheiro agrônomo atua para melhorar a produção agrícola, cuidando do preparo e cultivo do solo, do combate de pragas, da colheita, armazenamento e distribuição da safra, da alimentação e da saúde e dos animais, do manejo e recuperação das pastagens, além de gerenciar o armazenamento e comercialização de alimentos, entre outras funções. Atua em empresas, principalmente da agropecuária, e órgãos públicos. Duração média de cinco anos.
- O engenheiro florestal gerencia parques e reservas florestais, avalia e planeja o aproveitamento de produtos da floresta, cuida da recuperação de áreas degradadas, de projetos de reflorestamento e do melhoramento genético de plantas. Há vagas em várias áreas do setor privado, como nas empresas de reflorestamento e indústrias de base florestal, principalmente nas de papel e celulose, em ONGs que atuam nessa área e em órgãos públicos, como o Ibama e o Ministério do Meio Ambiente. Duração média de cinco anos.
- O engenheiro sanitarista participa de projetos, construção e operação de sistemas de água e esgotos. Cuida da qualidade da água, do tratamento do esgoto e do lixo. Avalia o impacto de grandes obras sobre o meio ambiente e da prevenção da poluição causada por indústrias. Pode trabalhar em empresas privadas ou para prefeituras e secretarias estaduais e federais na área de saneamento básico e na área de consultoria ambiental. Duração média de cinco anos.
- O bacharel em Ecologia analisa o funcionamento dos ecossistemas e os impactos ambientais da atividade humana, de modo a evitar desequilíbrios ecológicos, proteger os recursos ambientais e recuperar ecossistemas. Realiza pesquisas sobre as interações entre os seres vivos e o ambiente e suas repercussões sobre o equilíbrio ambiental e a saúde humana. Atua no planejamento do crescimento urbano. Pode trabalhar para empresas privadas e ONGs, na área de consultoria, por exemplo, e em órgãos públicos, como o Ibama e em secretarias municipais e estaduais, além de lecionar e realizar pesquisas em universidades, bem como participar de trabalhos educacionais na comunidade. Duração média de quatro anos.
- O tecnólogo em gestão ambiental desenvolve projetos para prevenir e solucionar problemas de poluição das águas, para a recuperação do solo e de áreas verdes, a reciclagem de materiais e educação ambiental, tratamento de lixo, etc. Pode trabalhar para empresas públicas e privadas. A duração média do curso é de dois anos mais um estágio obrigatório.
- O tecnólogo em saneamento ambiental trabalha em conjunto com o engenheiro sanitarista na instalação, fiscalização e manutenção de redes de água e esgotos, no gerenciamento de aterros sanitários e no controle de poluição ambiental. Pode trabalhar em empresas privadas de saneamento ou em órgãos públicos federais, estaduais ou municipais. A duração média é de três anos.
- O técnico em controle ambiental coleta e analisa dados ambientais, realiza análises da qua-

lidade da água e do esgoto, gerencia o manejo de resíduos sólidos. Pode trabalhar em instituições públicas e privadas. Duração: cerca de 800 horas.

- O técnico em meio ambiente colabora na elaboração de estudos ambientais, atua em programas de educação ambiental e de conservação de recursos naturais. Pode atuar em instituições públicas e privadas em unidades de conservação ambiental. Duração: cerca de 800 horas.

11 Significado das siglas de vestibular

- Acafe-SC: Associação Catarinense das Fundações Educacionais (Santa Catarina)
- Cefet-SP: Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo
- Cesgranrio-RJ: Centro de Seleção de Candidatos ao Ensino Superior do Grande Rio (Rio de Janeiro)
- Enem: Exame Nacional do Ensino Médio
- Fatec-SP: Faculdade de Tecnologia (São Paulo)
- FGV-SP: Fundação Getulio Vargas (São Paulo)
- Furg-RS: Universidade Federal do Rio Grande
- Fuvest-SP: Fundação Universitária para o Vestibular (São Paulo)
- IFPE: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
- IFSP: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
- Mack-SP: Universidade Presbiteriana Mackenzie (São Paulo)
- PUC-PR: Pontifícia Universidade Católica do Paraná
- PUC-RJ: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
- PUC-RS: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
- PUC-SP: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
- PUCC-SP: Pontifícia Universidade Católica de Campinas (São Paulo)
- Udesc: Universidade do Estado de Santa Catarina
- Uece: Universidade Estadual do Ceará
- UEG-GO: Universidade Estadual de Goiás
- UEL-PR: Universidade Estadual de Londrina (Paraná)
- UEM-PR: Universidade Estadual de Maringá (Paraná)
- Uema: Universidade Estadual do Maranhão
- UEMG: Universidade do Estado de Minas Gerais
- Uepa: Universidade do Estado do Pará
- UEPG-PR: Universidade Estadual de Ponta Grossa (Paraná)
- Uerj: Universidade do Estado do Rio de Janeiro
- Uesc-BA: Universidade Estadual de Santa Cruz (Bahia)
- Ufal: Universidade Federal de Alagoas
- UFC-CE: Universidade Federal do Ceará
- Ufes: Universidade Federal do Espírito Santo
- UFF-RJ: Universidade Federal Fluminense (Rio de Janeiro)
- UFG-GO: Universidade Federal de Goiás
- UFJF-MG: Universidade Federal de Juiz de Fora (Minas Gerais)
- Ufla-MG: Universidade Federal de Lavras (Minas Gerais)
- UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais
- UFPA: Universidade Federal do Pará
- UFPB: Universidade Federal da Paraíba
- UFPE: Universidade Federal de Pernambuco
- UFPR: Universidade Federal do Paraná
- UFRGS-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UFRN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina
- Ufscar-SP: Universidade Federal de São Carlos (São Paulo)
- UFSM-RS: Universidade Federal de Santa Maria (Rio Grande do Sul)
- UFTM-MG: Universidade Federal do Triângulo Mineiro (Minas Gerais)
- UFU-MG: Universidade Federal de Uberlândia (Minas Gerais)
- Unaerp-SP: Universidade de Ribeirão Preto (São Paulo)
- UnB: Universidade de Brasília (Distrito Federal)
- Unicamp-SP: Universidade Estadual de Campinas (São Paulo)
- Unifesp: Universidade Federal de São Paulo
- Unifor-CE: Fundação Edson Queiroz Universidade de Fortaleza (Ceará)
- Unimar-SP: Universidade de Marília (São Paulo)
- Unioeste-PR: Universidade Estadual do Oeste do Paraná
- Unirio-RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UPE: Universidade de Pernambuco
- UPF-RS: Universidade de Passo Fundo (Rio Grande do Sul)
- UTFPR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Vunesp-SP: Fundação para o Vestibular da Unesp (São Paulo)

ISBN 978-85081796 0-2
9 788508 179602